

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки: 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Профиль: «Электроприводы и системы управления электроприводов»

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Асинхронный электропривод вентилятора сухой градирни

УДК 621.175.3-83-523

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Ж	Жохова Мария Вячеславовна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Однокопылов Иван Георгиевич	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально- гуманитарных наук	Фигурко Аркадий Альбертович	к.э.н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения контроля и диагностики	Амелькович Юлия Александровна	к.т.н., доцент		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Отделение электроэнергетики и электротехники	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Дементьев Юрий Николаевич	PhD, к.т.н.		

Томск – 2018 г.

Содержание

Введение	11
1. Технологический процесс сжижения природного газа	12
1.1 Завод сжижения газа.....	12
1.2 Функциональное назначение градирни.....	15
1.3 Типы градирен.....	17
2. Выбор и обоснование способа регулирования электропривода	28
2.1 Системы частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением.....	29
2.2 Выбор электродвигателя и расчет параметров схемы замещения.....	34
2.3 Проверка адекватности расчетных параметров двигателя.....	39
2.4 Выбор преобразователя частоты.....	40
2.4.1 Выбор автоматического выключателя и пускателя.....	45
2.5 Естественные характеристики электродвигателя.....	47
2.6 Механические и электрохимические характеристики при частотном регулировании.....	49
3. Имитационное моделирование	53
3.1 Динамическая модель АД во вращающейся системе координат.....	53
3.2 Имитационная модель электропривода вентилятора.....	55
3.3 Результаты имитационного моделирования электропривода вентилятора.....	58
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	65
4.1 SWOT-анализ.....	65
4. 2 Планирование научно-исследовательских работ	69
4.3 Затраты на специальную программную среду для научных работ	74
4.4 Формирование сметы технического проекта	78
5. Социальная ответственность	82
5.1 Производственная безопасность	82
5.2 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности.....	83
5.2. 1 Производственные метеословия.....	83
5.2. 2 Недостаточная освещенность рабочей зоны.....	84
5.2.3 Повышенный уровень шума.....	87
5.2.4 Повышенный уровень электромагнитных излучений	88

5.3 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производной среды.....	89
5.3.1 Электроопасность	89
5.4 Экологическая безопасность.....	92
5.4. 1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду	93
5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	94
5.5. 1 Анализ вредных ЧС, которые может инициировать объект исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС	94
5.6 правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	96
5.6.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства.....	96
Заключение	99
Список использованных источников.....	100
Приложение А.....	102

Министерство образования и науки Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа энергетики

Отделение/НОЦ Электроэнергетика и электротехника

Направление подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Профиль Электроприводы и системы управления электроприводами

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Магистерской диссертации

Студенту:

Группа	ФИО
5AM6Ж	Жохова Мария Вячеславовна

Асинхронный электропривод вентилятора сухой градирни

Утверждена приказом руководителем ИШЭ
(дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:
(дата)

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе (наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</p>	<p>Объект исследования - вентилятор сухой градирни; Приводной двигатель – асинхронный с короткозамкнутым ротором YB3 200L-4, Электрический преобразователь – преобразователь частоты, Параметры электрической сети: $f_d = 50$ Гц - частота напряжения питающей сети; $U_{вх} = 380$ В</p>
<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов (аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования; содержательная, концептуальная, математическая структурная модель; разработка алгоритма решения задачи; выбор программного обеспечения; индивидуальные; дополнительные разделы,</p>	<p>Расчет статических характеристик электропривода; Моделирование схемы в среде MATLAB Simulink; Разработка алгоритма управления системы ПЧ-АД.</p>

<i>подлежащие разработке; заключение по работе).</i>	
Перечень графического материала	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Фигурко Аркадий Альбертович, к.э.н., доцент
«Социальная ответственность»	Амелькович Юлия Александровна, к.т.н., доцент
«Английский язык»	Соколова Эльвира Яковлевна, старший преподаватель

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
---	--

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения электроэнергетики и электротехники	Однокопылов Иван Георгиевич	К.Т.Н.,		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Ж	Жохова Мария Вячеславовна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
5АМ6Ж	Жохова Мария Вячеславовна

Школа	Инженерная школа энергетики	Подразделение	Отделение электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Магистратура	Направление	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов: материально-технических, энергетических, финансовых, и человеческих.	1. Определить затраты на разработку проекта, в которую входят: - Материалы и покупные изделия - Основная заработная плата - Дополнительная заработная плата - Отчисления в социальные фонды - Прочие и накладные расходы 2. Для исследования необходимо два человека: руководитель, студент.
2. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования.	Отчисления во внебюджетные страховые фонды – 30 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ и оценка научно-технического уровня проекта (НТУ)
2. Планирование и формирование бюджета научных исследований	Разработка календарного плана работ, сметы расходов.

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)

1. Расходы на этапе проектирования на материальные затраты.
2. Расходы на этапе проектирования на заработную плату.
3. Смета затрат.
4. Смета наличных капитальных затрат.
5. Результаты расчёта приведённых затрат.

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения социально-гуманитарных наук	Фигурко Аркадий Альбертович	к.э.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Ж	Жохова Мария Вячеславовна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА

«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
5АМ6Ж	Жохова Мария Вячеславовна

Школа	Инженерная школа энергетики	Подразделение	Отделение электроэнергетики и электротехники
Уровень образования	Магистратура	Направление	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объектом исследования является математическая модель электропривода, которая построена на основе структурной схемы эквивалентного двухфазного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором в неподвижной системе α, β .
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Производственная безопасность 1.1 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: – физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой; – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства защиты; – (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства). 1.2 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: – механические опасности (источники, средства защиты); – термические опасности (источники, средства защиты); – электроопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства	Воздействие на работника физических факторов, таких как, производственные метеоусловия; недостаточная освещенность; запыленность; повышенный уровень шума; неравномерность распределения яркости в поле зрения; повышенная яркость светового изображения. Электроопасность.

защиты); 1. пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).	
2. Экологическая безопасность: - защита селитебной зоны - анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); - анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); - анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); - разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.	Утилизация компьютерной техники. Отходы, образующиеся при поломке ПЭВМ, внешних устройств ЭВМ. Этапы утилизации компьютерной техники.
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях: - перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; - выбор наиболее типичной ЧС; - разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; - разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.	<u>Возможные ЧС:</u> Возможны возгорания в следствии короткого замыкания из-за ошибки оператора и нарушения целостности электрических проводов. Наиболее типичным ЧС будет пожар в помещении. Предупреждающие мероприятиями являются наличие плана эвакуации на месте работы оператора, знание и соблюдение мер пожарной безопасности работниками, установка заземлителей.
4 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: - специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Были рассмотрены специальные правовые нормы трудового законодательства и организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент отделения контроля и диагностики	Амелькович Юлия Александровна	к.т.н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Ж	Жохова Мария Вячеславовна		

Аннотация

Выпускная квалификационная работа состоит из шести глав. Общий объем работы 111 с., включая 38 рисунков, 18 таблиц, 21 источник, 1 приложение.

Ключевые слова: асинхронный электропривод, сухая градирня, преобразователь частоты, вентилятор, завод сжижения газа.

Актуальность

Множество технологических процессов современного промышленного производства требуют наличия охлажденной воды. По причине постоянного роста цен на электроэнергию, эффективным способом экономии средств становится включение в технологический процесс сухих градирен. Это оборудование может использоваться для охлаждения любых жидкостей, в частности воды. В данной работе сухая градирня используется для обеспечения точного поддержания температуры этиленгликоля в контуре системы охлаждения процесса сжижения природного газа.

В настоящее время на заводе по сжижению газа регулирование охлаждения воды осуществляется дросселированием заслонки вентилятора. В данной работе предлагается использовать частотно-регулируемый электропривод, так как это основной способ увеличения энергосбережения в электроприводе. Но благодаря тому, что силовая электроника и микропроцессорная техника развивалась, начали производиться надежные и относительно недорогие преобразователи частоты.

Целью работы является разработка частотно - регулируемого электропривода вентилятора сухой градирни. Для обеспечения точного поддержания температуры этиленгликоля в контуре системы охлаждения процесса сжижения природного газа.

Методы исследования

Для достижения поставленной цели необходимо было решить ряд следующих задач:

1. Провести анализ технологии;
2. Подобрать исходя из технического задания необходимое оборудование;
3. Произвести математическое исследование статических и динамических характеристик электропривода;
4. Разработать имитационную модель электропривода сухой градирни и выполнить исследования режимов его работы.

Научная новизна

Разработана имитационная модель позволяющая произвести исследование электропривода градирни с учетом вентиляторного характера нагрузки, реактивного характера, частотного закона регулирования, двигателя и задатчика интенсивности.

Разработанная модель электропривода вентилятора градирни в имитационной среде Matlab Simulink, позволяет адекватно оценивать работу электропривода и производить настройку для обеспечения максимальной эффективности.

Выпускная квалификационная работа выполнена в текстовом редакторе MicrosoftWord 2015 и представлена на CD-носителе (на обратной стороне обложки), также для расчетов использовалась программа MathCad 15, среда Simulink пакета MATLAB.

Введение

По сей день асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором имеет большее распространение, нежели другие виды электродвигателей. Это приблизительно 90% от всех эксплуатируемых двигателей. Объяснение этому - его преимущества, такие как: низкая стоимость, высокая надежность, эксплуатации изготовление. И так, добиваясь уменьшения потерь в электроприводе с асинхронным двигателем, мы увеличиваем энергетическую эффективность. Но связи с тем и синхронный двигателя эксплуатирует в разных сферах производства, это значит нельзя решить эту проблему одним способом. В каждой сфере есть свои нюансы тем самым каждый из них нужно анализировать режим работа за тем искать способы уменьшения потерь.

Использование управляемого электропривода - это основной способ увеличения энергосбережение в электроприводе. Раньше для управления скоростью вращения вала электродвигателя постоянного тока. Асинхронные электродвигатели только в нерегулируемом приводе. Но благодаря тому, что силовая электроника и микропроцессорная техника развивалась, начали производиться надежные и относительно недорогие преобразователи частоты.

После этого преобразователи частоты начали использовать в регулируемых асинхронных электроприводах для управления скоростью вала, что привело уменьшению спроса на ЭП постоянного тока.

1. Технологический процесс сжижения природного газа

1.1. Завод сжижения газа

Сжиженный природный газ (СПГ) - природный газ, искусственно сжиженный путём охлаждения до $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$, для облегчения хранения и транспортировки. СПГ представляет собой бесцветную жидкость без запаха, плотность которой в 2 раза меньше плотности воды. На 75-99 % состоит из метана. Температура кипения $-158\ldots-163\text{ }^{\circ}\text{C}$.

СПГ в жидком состоянии не горюч, не токсичен, не агрессивен. Для использования подвергается испарению до исходного состояния. А при сгорании паров образуется диоксид углерода и водяной пар.

В промышленности газ сжижают как для использования в качестве конечного продукта, так и с целью использования в сочетании с процессами низкотемпературного фракционирования ПНГ и природных газов, позволяющие выделять из этих газов газовый бензин, бутаны, пропан и этан, гелий.

СПГ получают из природного газа путём сжатия с последующим охлаждением. При сжижении природный газ уменьшается в объёме примерно в 600 раз. 1 тонна СПГ - это примерно 1,38 тыс. м^3 природного газа.

Процесс сжижения идет ступенями, на каждой из которых газ сжимается в 5-12 раз, затем охлаждается и передается на следующую ступень. Собственно, сжижение происходит при охлаждении после последней стадии сжатия. Процесс сжижения таким образом требует значительного расхода энергии - до 25 % от её количества, содержащегося в сжиженном газе.

Сейчас применяются 2 техпроцесса:

конденсация при постоянном давлении (компримирование), что довольно неэффективно из-за энергоемкости;

теплообменные процессы: рефрижераторный - с использованием охладителя и турбодетандерный/ дросселирование с получением необходимой температуры при резком расширении газа.

В процессах сжижения газа важна эффективность теплообменного оборудования и теплоизоляционных материалов. При теплообмене в криогенной области увеличение разности температурного перепада между потоками всего на $0,5^{\circ}\text{C}$ может привести к дополнительному расходу мощности в интервале 2 - 5 кВт на сжатие каждых 100 тыс. м^3 газа.

Недостаток технологии дросселирования - низкий коэффициент ожижения - до 4%, что предполагает многократную перегонку. Применение компрессорно-детандерной схемы позволяет повысить эффективность охлаждения газа до 14 % за счет совершения работы на лопатках турбины.

Термодинамические схемы позволяют достичь 100% эффективности сжижения природного газа:

- каскадный цикл с последовательным использованием в качестве хладагентов пропана, этилена и метана путем последовательного;
- снижения их температуры кипения;
- цикл с двойным хладагентом - смесью этана и метана;
- расширительные циклы сжижения.

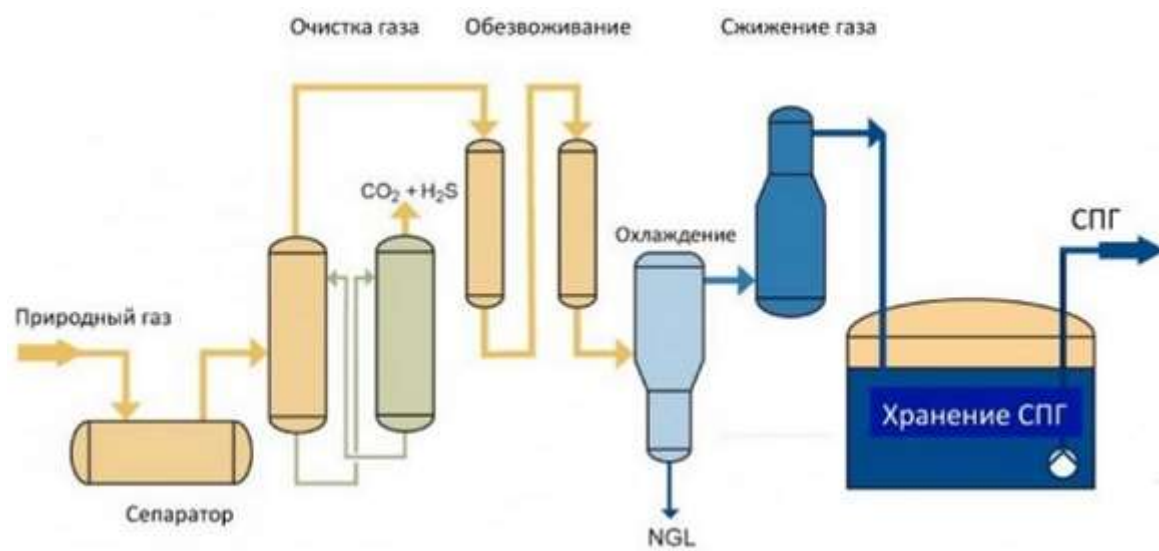


Рисунок 1 – Процесс сжижения газа

Оборудование СПГ-завода:

- установка предварительной очистки и сжижения газа;
- технологические линии производства СПГ;

резервуары для хранения, в том числе специальные криоцистерны, устроенные по принципу сосуда Дюара;

для загрузки на танкеры – газовозы;

для обеспечения завода электроэнергией и водой для охлаждения.

Существует технология, позволяющая сэкономить на сжижении до 50 % энергии, с использованием энергии, теряемой на газораспределительных станциях при дросселировании природного газа от давления магистрального трубопровода (4-6 МПа) до давления потребителя (0,3-1,2 МПа).

При этом используется как собственно потенциальная энергия сжатого газа, так и естественное охлаждение газа при снижении давления. За счет этого дополнительно экономится энергия, необходимая для подогрева газа перед подачей к потребителю. Чистый СПГ не горит, сам по себе не воспламеняется и не взрывается. На открытом пространстве при нормальной температуре СПГ возвращается в газообразное состояние и быстро растворяется в воздухе. При испарении природный газ может воспламениться, если произойдет контакт с источником пламени.

Для воспламенения СПГ необходимо иметь концентрацию испарений в воздухе от 5 % до 15 %. Если концентрация до 5 %, то испарений недостаточно для начала возгорания, а если более 15 %, то в окружающей среде становится слишком мало кислорода. Для использования СПГ подвергается регазификации - испарению без присутствия воздуха. СПГ является важным источником энергоресурсов для многих стран, в том числе Японии, Франции, Бельгии, Испании, Южной Кореи.

Доставка СПГ - это процесс, включающий в себя несколько этапов:

транспортируется СПГ на специализированных морских судах танкерах газовозах, оборудованных криоцистернами, а также на спецавтомобилях;

затем СПГ регазифицируется.

Регазифицированный СПГ транспортируется конечным потребителям по газопроводам.

На различных этапах компрессии, дегидратации, осушки требуется поддержание определенных температурных стадий технологического процесса. С этой целью применяется система охлаждения этиленгликолем. Избыточная температура технического процесса рассеивается в виде тепла в окружающую среду на воздушном охладителе (градирни) с принудительной вентиляцией. Охлаждение осуществляется путем продувки сухой градирни атмосферным воздухом. Температура охлаждения этиленгликоля пропорциональна от скорости вентиляторов.

1.2 Функциональное назначение градирни

Множество технологических процессов современного промышленного производства требуют наличия охлажденной воды. По причине постоянного роста цен на электроэнергию, эффективным способом экономии средств становится включение в технологический процесс сухих градирен. Это оборудование может использоваться для охлаждения любых жидкостей, в частности воды.

Задача сухой градирни обеспечить охлаждение потоков воды, занятых в технологическом процессе на величину, равную 18-20 °С. Это достигается за счет того, что жидкость, подаваемая в теплообменное устройство, снижает свою температуру под воздействием воздушного потока, забираемого вентиляционной установкой из окружающей среды. Сборка теплообменника представляет собой набор медных трубок большой площади с ребристым профилем, покрытым алюминием. Охлажденная вода, минуя теплообменник, направляется по трубопроводам в зону технологического назначения.

Сухие градирни часто еще называют драйкулерами. Они заключены в стальной корпус, покрытый защищающей от коррозии эмалью. А для защиты труб от повреждений в процессе работы драйкулера, предусмотрены стальные ребра жесткости. Конструктивные особенности сухой градирни могут быть усовершенствованы по желанию заказчика. Вентиляторы могут иметь специальный регулятор, варьирующий скорость их вращения во время работы. Наличие защитной решетки помогает существенно понизить уровень шума.

Термодинамический предел драйкулера достигает 5 градусов Цельсия. В целях его увеличения (понижить температуру воды на выходе на пару градусов) сухие градирни можно оборудовать оросительной системой. Ее применяют в случаях, когда температура окружающего воздуха высока. Работу системы обеспечивает набор форсунок, разбрызгивающих воду на трубки теплообменного устройства. Испаряемая жидкость не только способствует понижению температуры воды, но и смывает грязь с теплообменного устройства.

При помощи сухих градирен можно не только остужать жидкости. На многих предприятиях драйкулер с успехом включают в схему использования совместно с охладителем – чиллером. Это позволяет существенно экономить энергию. Жидкость направляется сначала в градирню, где происходит ее начальная фаза охлаждения, а затем уже поступает в теплообменное устройство чиллера. Там жидкость окончательно остывает до заданных значений температуры. Стоит отметить, что в ночное время, когда окружающий воздух достаточно прохладен, градирня сама может охладить воду до нужного значения. Работающий в паре с ней чиллер может автоматически отключаться, за счет этого достигается автоматический эффект и не тратится лишняя энергия.

Факторы, при которых рекомендуется выбирать сухую градирню:

1. Технологический процесс требует постоянного охлаждения жидкостей (это может быть не только вода, но и другие растворы и жидкие вещества);
2. Должно быть соблюдено условие, при котором необходимо понизить температуру жидкости до значения, на 18-20 °С ниже, чем температура окружающего воздуха;
3. Расположение производственной площадки исключает возможность размещения на ней испарительного оборудования;
4. При организации производства существуют препятствия в виде сооружений, зданий и прочих заграждений, которые мешают быстро перенести прогретый влажный воздух;

5. Для технологического процесса, требующего подачи охлажденной жидкости, регламентом установлены жесткие требования по ее составу и чистоте;

6. Возможности постоянного водозамещения на производстве существенно ограничены;

7. Энергетические мощности предприятия не позволяют применить другое водоохлаждающее оборудование.

1.3 Типы градирен

Работа любой градирни основана на охлаждении некоторого объема жидкости атмосферным воздухом. Именно отсутствие иного, нежели воздух, хладагента и отличает градирню от кондиционера, холодильника или чиллера.

По принципу действия выделяют два основных типа промышленных градирен: испарительные и сухие, их еще называют открытые или закрытые.

Испарительная градирня открытого типа работает по принципу разбрызгивания горячей воды и смешивания ее с более холодным наружным воздухом. При этом часть воды превращается в пар и вместе с нагретым наружным воздухом выбрасывается в атмосферу, оставшаяся же вода охлаждается.

По способу подачи воздуха градирни испарительного типа бывают:

Поперечноточные;

Противоточные;

Брызгальные;

Эжекционные.



Рисунок 2 – Пример градирни

Принцип работы драйкулера или градирни «сухого» (закрытого) типа заключается в понижении температуры, проходящей внутри замкнутого контура теплообменника, при его обдувании уличным воздухом. Такой же принцип используется в системе охлаждения двигателя автомобиля, когда охлаждающая жидкость проходит через радиатор, обдуваемый вентилятором. При этом непосредственный контакт жидкости с подаваемым воздухом отсутствует.



Рисунок 3 – Классификация градирен

Открытые промышленные градирни

Открытые или мокрые градирни обеспечивают охлаждение за счет непосредственного контакта воздуха и воды.

В зависимости от способа перемешивания различают следующие виды испарительных (мокрых) градирен:

Оросительные (поперечноточные и противоточные);

Безнасадочные (брызгальные и эжекционные).

Оросительные или насадочные градирни осуществляют контакт подаваемого воздуха с охлаждаемой водой на развитой поверхности оросительного слоя (насадки).

При этом, если направление движения потоков воды и воздуха параллельное (противонаправленное), то градирня относится к противоточному типу. Если же поток воздуха движется перпендикулярно потоку воды, то градирня будет поперечноточного типа.

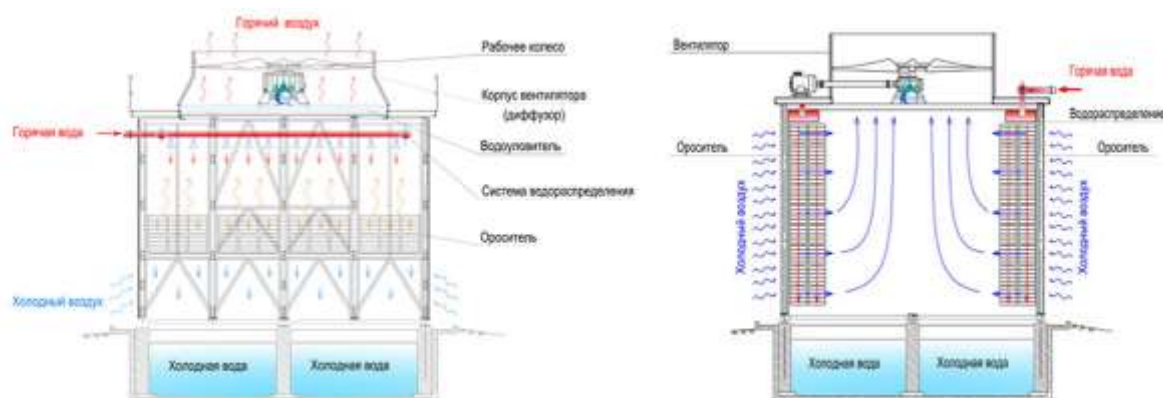


Рисунок 4 – Пример работы градирни

Безнасадочные градирни работают за счет распыления воды и разделения ее на мелкие капли. Теплообмен у них происходит на поверхности капель.

Брызгальные градирни или брызгальные бассейны отличаются от эжекторных давлением, под которым происходит процесс разбрызгивания.

В эжеционных градирнях разбрызгивание воды специальными форсунками происходит при давлении 0,3-0,4 МПа. Получившийся мелкодисперсный факел с частицами размером 0,2 мм движется с большой скоростью, порядка 16-20 м/с. За счет такого движения поток капель интенсивно увлекает (эжектирует) за собой атмосферный воздух, при этом перемешиваясь.

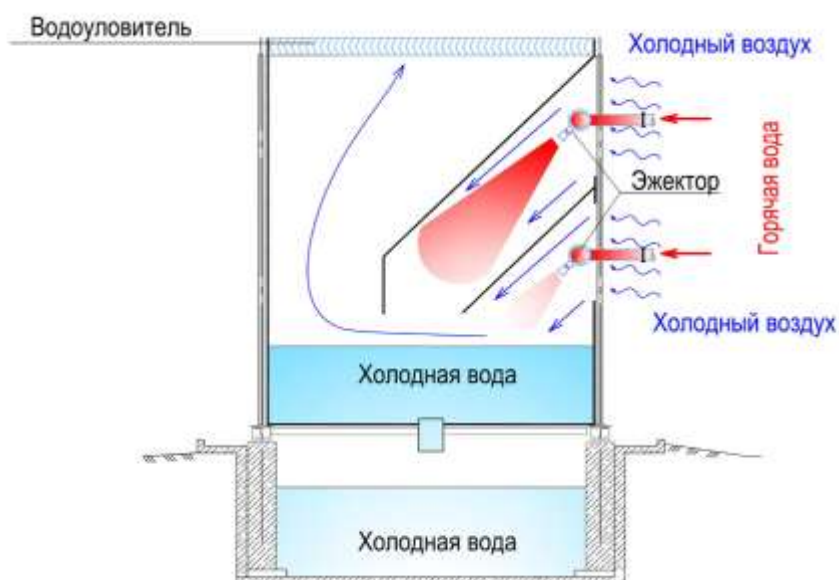


Рисунок 5 – Принцип работы градирни

Рассмотрим более подробно два этих класса градирен и разберемся в их достоинствах и недостатках.

Поперечноточные градирни

В поперечно-точной градирне вода из коллектора подается в специальный бак - потолочный распределитель. Оттуда уже без давления, самотеком, она стекает вниз по узкому слою специального оросителя.

Теплообмен и испарения (обмен масс) происходит за счет большого количества воздуха, подаваемого вентилятором.

В таких градирнях воздух движется в слое оросителя горизонтально перпендикулярно падающей сверху вниз воде. Отсюда название: поперечноточная градирня. Вход воздуха может быть с одной или двух сторон, соответственно получится одно- или двухпоточная система.

Второе существенное отличие: безнапорная система водораспределения. Благодаря отсутствию подпора и большему на 30 % аэродинамическому сопротивлению оросителя использование поперечноточных градирен зимой сильно затруднено. Именно поэтому основное распространение такие градирни получили в странах с теплым климатом: ОАЭ, Иран, Индия, Пакистан.

Водоуловитель в этом виде градирен совмещен с жалюзи и выполняет двойную функцию: предотвращение уноса и разбрызгивания капель воды. Так как в нижней части оросителя образовывается слабо орошаемая зона, то весь слой оросителя целесообразно делать наклонным, чтобы сместить нижний ярус к центру и уменьшить обмерзание.

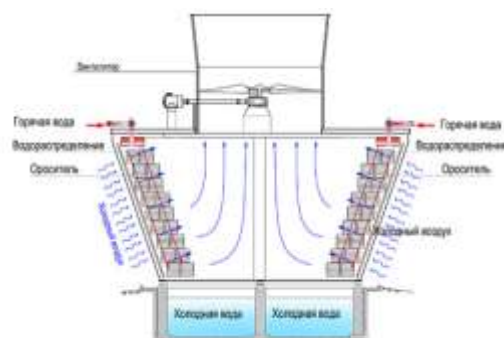


Рисунок 6 – Система работы поперечноточные градирни

Экономическое применение таких градирен оправданно при условии круглогодично теплого климата. Тогда экономия места за счет возможности увеличивать высоту градирни и отсутствие давления в верхней точке водораспределительной системы окупают прочие недостатки. В последнее время такие градирни активно продвигаются на российском рынке под соусом новизны и энергоэффективности. Однако, в наших реалиях применение поперечноточных градирен в крупных водооборотных циклах – ошибка.

Тепловой расчет аналогичен теплогидравлическому расчету классической вентиляторной градирни, только коэффициент тепломассобмена на 20% меньше. Это значит, что при одинаковых условиях поперечноточные градирни охлаждаются хуже противоточных, из-за менее эффективного использования поверхности оросителя.

Преимущества:

занимают меньше места, так как могут быть спланированы «в высоту»;

требуют меньшего давления в системе водораспределения.

Недостатки:

на 30% менее эффективный ороситель;

большая стоимость;

обмерзают зимой.

сложность с ремонтом, так как в России не производят запчастей

Противоточные градирни

Они делятся на 2 большие группы: башенные и вентиляторные. Оба вида конструктивно состоят из системы подачи горячей воды с соплами, под которой установлен специальный сетчатый ороситель и резервуар для сбора остывшей воды. Поступающая в градирню горячая вода через сопла разбрызгивается на ороситель, где смешивается с наружным воздухом, остывает и стекает в резервуар. Наружный воздух подается через ороситель за счет естественной конвекции воздуха или нагнетается вентилятором. Если подача идет в

естественном режиме – это башенная градирня, если нагнетается, то вентиляторная.

Вентиляторная градирня. Принцип работы

Выполняется в виде корпуса с установленным сверху вентилятором. Под ним последовательно расположены: водоуловитель, система подачи воды с соплами, ороситель и резервуар. В нижней части корпуса имеются входные отверстия для поступления внутрь наружного воздуха.

Горячая вода через систему подачи воды разбрызгивается на ороситель и стекает по нему в резервуар. Наружный воздух поступает в корпус градирни через входные окна и поднимается вверх через оросителя за счет тяги, создаваемой вентилятором. Для уменьшения потерь испаряющейся воды, которая поднимается вверх вместе с подогретым воздухом, перед вентилятором установлен водоуловитель.

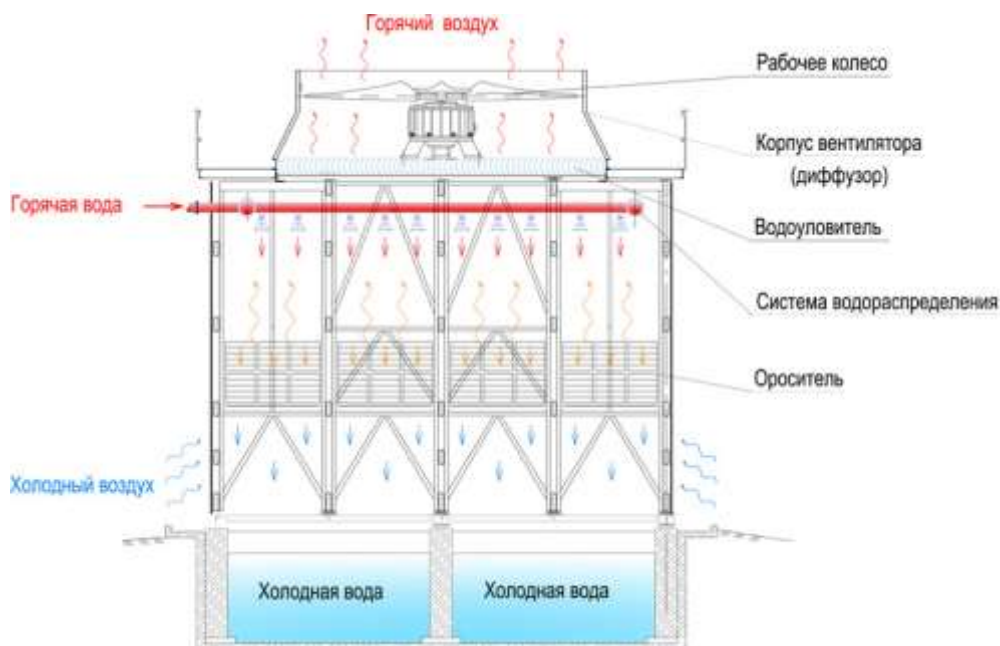


Рисунок 7 – Вентиляторная градирня. Принцип работы

Благодаря различным видам оросительных блоков и широкой гамме осевых вентиляторов такие градирни могут быть подобраны в большем диапазоне нагрузок по воде и обеспечивать глубокое охлаждение воды с перепадом до 30 °

Кроме того, благодаря возможности установки воздухорегулирующих жалюзи и реверсу привода, этот вид градирен прекрасно эксплуатируется в зимние морозы.

По типу оросителя различают пленочные, капельные и капельно-пленочные вентиляторные градирни. Наиболее эффективные - последние из них.

Для малых расходов оборотной воды вентиляторы градирни поставляются на предприятия в готовом виде, по этому признаку их называют малогабаритными или блочными мини градирнями. Этот тип градирен характеризуется невысокими перепадами температур на входе и выходе, при этом и электропотребление сравнительно не высоко.

Преимущества:

- гибкость конструкции;
- отсутствие обмерзания;
- энергоэффективность;
- легкость ремонта;
- наличие большого ассортимента запасных частей.

Недостатки:

- требуется обученный персонал для обслуживания;
- необходимы дополнительные меры зимой.

Башенная градирня

Башенная градирня представляет собой железобетонную или металлическую трубу конической формы, внутри которой находится система подачи воды, ороситель и резервуар. Поток наружного воздуха через входные отверстия в нижней части трубы поднимается вверх через ороситель за счет создания естественной тяги в трубе.

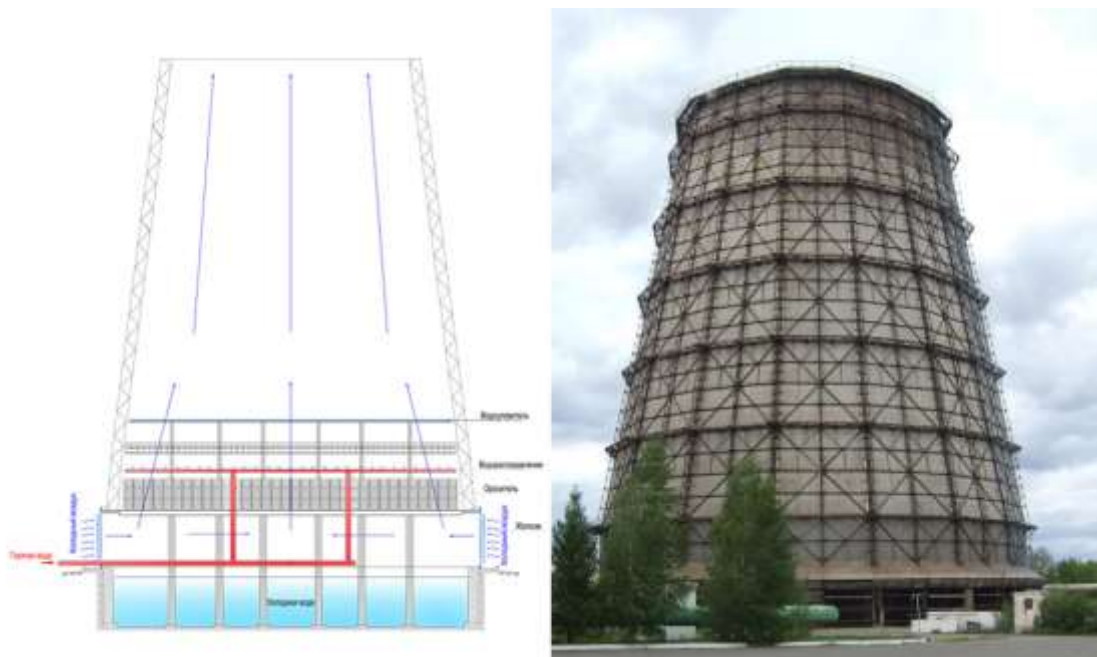


Рисунок 8 – Принцип работы башенной градирни

Этот вид промышленных градирен обеспечивает большую тепловую мощность за счет гигантского количества воды, охлаждаемого с небольшим температурным перепадом ($5-10^{\circ}\text{C}$). В основном башни – это градирни ТЭЦ или АЭС.

К достоинствам башенных градирен можно отнести отсутствие потребления электроэнергии. Однако, гигантские капитальные затраты на строительство и большая занимаемая площадь делают выбор в пользу этого типа редким явлением.

Так же стоит отметить, что ввиду отсутствия принудительной тяги и возможность развернуть поток воздуха, эксплуатация этих градирен требуют дополнительных приспособлений и мероприятий. Например, тамбур и жалюзи.

Преимущества:

- нет затрат электроэнергии при эксплуатации;
- предназначены для больших расходов воды.

Недостатки:

- малая глубина охлаждения;
- дорогое строительство;
- сложное строительство и ремонт;

требуют специальных мероприятий для зимнего периода.

Эжекционная градирня

Эжекционная градирня представляет собой корпус из стали, в котором размещен высоконапорный трубопровод с соплами (эжекторами) специальной конструкции. При распылении воды под давлением через эжектор, происходит подсос наружного воздуха в зону рязрежения. Воздух перемешивается с водой и охлаждает её.

Основными плюсами этого типа является полное отсутствие ограничения в температуре охлаждаемой воды. В оросительных системах обычно более $+60^{\circ}$. Свода не охлаждается, так как полимер, из которого изготовлен ороситель, становится пластичным и может разрушаться. Но, есть ряд минусов, которые накладывают сильные ограничения на распространение данного типа градирен.

Во-первых, это необходимость создать давление в эжекторе. Отсутствие вентилятора градирни с лихвой компенсируется повышенной мощностью насосов. Как пример, для сравнительного объема охлаждающей воды мощность вентиляторной установки составляет 75 кВт, а мощность насоса при эжекции уже 160 кВт. Кроме этого, уменьшается срок эксплуатации трубопроводов системы.

Во-вторых, зимой невозможна циркуляция так как мелкая водяная взвесь будет моментально замерзать. Требуется организовать байнасирование воды.

В-третьих, капельный унос у таких градирен выше в 1,5-2 раза, а применение водоуловителя создает дополнительное сопротивление и ухудшает охлаждение воды.

Применение эжекционных градирен выгодно при температуре воды более 60°C и/или малых расходов воды.

Преимущества:

могут работать на горячей воде с $t \geq 60^{\circ}\text{C}$;

не требуется обслуживать вентилятор;

отсутствие механические подвижных частей.

Недостатки:

большие энергозатраты на создание повышенного давления воды;
большой капельный унос;
сложность эксплуатации зимой.

Сухая градирня

Радиаторная (сухая) градирня изобретена венгерскими инженерами Геллером и Фарго и изначально использовалась для охлаждения конденсаторов электростанций. Она представляет собой корпус с размещенным внутри теплообменником(радиатором), по которому циркулирует охлаждающая жидкость, и одним или несколькими вентиляторами, обдувающими радиатор потоком наружного воздуха.

Радиатор из оребренных, чаще всего медных или алюминиевых трубок, обуславливает то, насколько хорошо сухие градирни будут охлаждать воду.



Рисунок 9 – Сухая градирня. Принцип работы

Применение качественного радиатора из меди, с тонкими каналами делает стоимость сухой градирни очень большой. Уменьшая стоимость решения, приходится жертвовать и эффективностью.

Сухие градирни имеет смысл использовать, когда технология требует изоляции контура циркуляции от внешней среды. Или при отсутствии возможности организовать подпитку в необходимых количествах. Тогда использование контура сухой градирни со смесью этиленгликоля является практически единственным решением. Еще выбор в пользу сухой градирни целесообразен при температуре теплоносителя или оборотной воды на грани кипения. Например, в оборотных циклах АЭС или НПЗ.

В остальных случаях более дешевым и оправданным будет применение вентиляторной промышленной градирни, так как расход воздуха вентилятора открытой градирни в 5 раз меньше, чем у закрытой. Мощность вентилятора пропорционально меньше у открытых градирен.

Преимущества:

- закрытый контур, отсутствие попадания примесей в воду;
- возможность работы на кипящей воде;
- возможность работы на этиленгликоле;
- отсутствие капельного уноса.

Недостатки:

- низкая эффективность охлаждения;
- дорогая конструкция и материалы;
- требовательность к обслуживанию и чистке теплообменника.

В определенных объектах которые участвуют в технологическом процессе требуется охлаждение, за это отвечает этиленгликоль, который в свою очередь централизованно нужно охлаждать. В охлаждении участвует 4 вентилятора.

Мы рассматриваем вентилятор сухой градирни и асинхронный электродвигатель YB3 200L-4.

2. Выбор и обоснование способа регулирования электропривода

Под частотным управлением понимается управление электродвигателем переменного тока путем изменения амплитуды и частоты питающего напряжения. Частотное управление асинхронными электродвигателями осуществляется двумя основными способами (методами):

– скалярный (вольт–частотный) в соответствии с функциональной характеристикой, связывающей напряжение и частоту статора электродвигателя (

$\frac{U}{f} = const$ – линейный закон управления, $\frac{U}{f^2} = const$ – квадратичный закон управления);

– векторный. Это такой метод управления синхронными и асинхронными двигателями, при котором формируются не только гармонические токи (напряжения) фаз, но и обеспечивается управление магнитным потоком ротора, а именно, моментом на валу электродвигателя. Векторное управление применяется в случае, когда в процессе эксплуатации нагрузка может меняться на одной и той же частоте, т.е. нет четкой зависимости между моментом нагрузки и скоростью вращения, а также в случаях, когда необходимо получить расширенный диапазон регулирования частоты при номинальных моментах.

Системы векторного управления разделяются на два класса – это бездатчиковые и с обратной связью. Область применения позволяет определить применение определенного метода. Если диапазон измерения значения скорости не превышает 1:100, а требования, предъявляемые к точности, колеблются в пределах $\pm 1,5\%$, то используется бездатчиковая система управления. Если измерение скорости осуществляется в пределах достигающих значений 1: 10000 и больше, а уровень точности должен быть довольно высоким ($\pm 0,2\%$ при частоте вращения ниже 1 Гц), или же необходимо позиционировать вал или осуществлять регулирование момента на валу при низких частотах вращения, то применяется система, имеющая обратную связь по скорости.

Преимущества векторного метода управления асинхронным двигателем:

высокий уровень точности при регулировании скорости вращения вала, несмотря даже на возможное отсутствие датчика скорости;

осуществление вращения двигателя на малых частотах происходит без рывков, плавно;

если установлен датчик скорости, то можно достичь номинального значения момента на валу даже при нулевом значении скорости;

быстрое реагирование на возможное изменение нагрузки – резкие скачки нагрузки практически не отражаются на скорости электропривода;

высокий уровень КПД двигателя, за счет сниженных потерь из-за намагничивания и нагрева.

Несмотря на очевидные преимущества, метод векторного управления имеет и определенные недостатки – большая сложность вычислений, для работы необходимо знание параметров двигателя. Помимо всего прочего колебания значения скорости при постоянной нагрузке значительно больше, нежели при скалярном методе управления.

Современные частотно-регулируемые асинхронные электроприводы используют блочно - модульные принципы комплектования и реализуются по структурам скалярного и векторного частотного управления. Выбор структуры реализации и закона скалярного управления частотно-регулируемого асинхронного электропривода для конкретного производственного механизма определяется требованиями к статическим (в первую очередь к диапазону регулирования скорости) и динамическим характеристикам электропривода [1]. Так же реализация скалярного управления проще и более дешевле, чем векторное.

2.1 Системы частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением

Обобщенная функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением приведена на рис. 10. На схеме символом * обозначены сигналы задания и управления и приняты следующие обозначения:

$\Delta f_{1к}^*, \Delta U_{1к}^*$ – компенсационные сигналы управления соответственно в канале регулирования частоты и напряжения;

ω – фактическое значение угловой скорости вращения электродвигателя (ротора);

ЗИС – задатчик интенсивности скорости с линейной или *S*-образной характеристикой;

РС – регулятор скорости;

ФНУ1 – формирователь напряжений управления двухфазным асинхронным двигателем

$$U_{\alpha}^* = \sqrt{2} \cdot U_1 \cdot \sin 2\pi f_1, U_{\beta}^* = \sqrt{2} \cdot U_1 \cdot \cos 2\pi f_1;$$

ФНУ2 – преобразователь напряжений управления двухфазным двигателем в напряжения управления трехфазным двигателем.

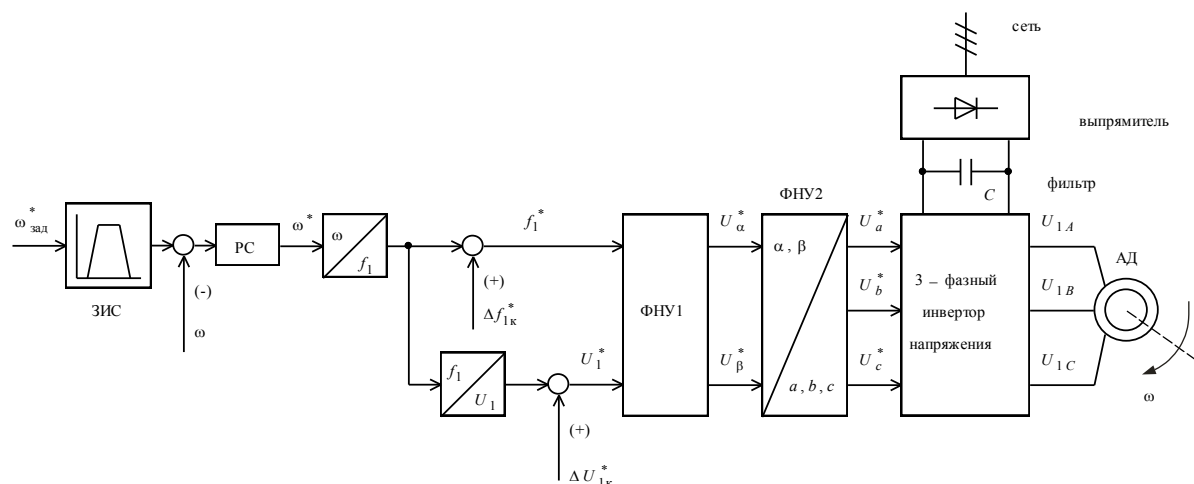


Рисунок 10 – Функциональная схема частотно-регулируемого асинхронного электропривода со скалярным управлением

На рис. 11 и 12 приведены функциональные схемы систем управления электроприводов со скалярным управлением фирмы *Siemens*.

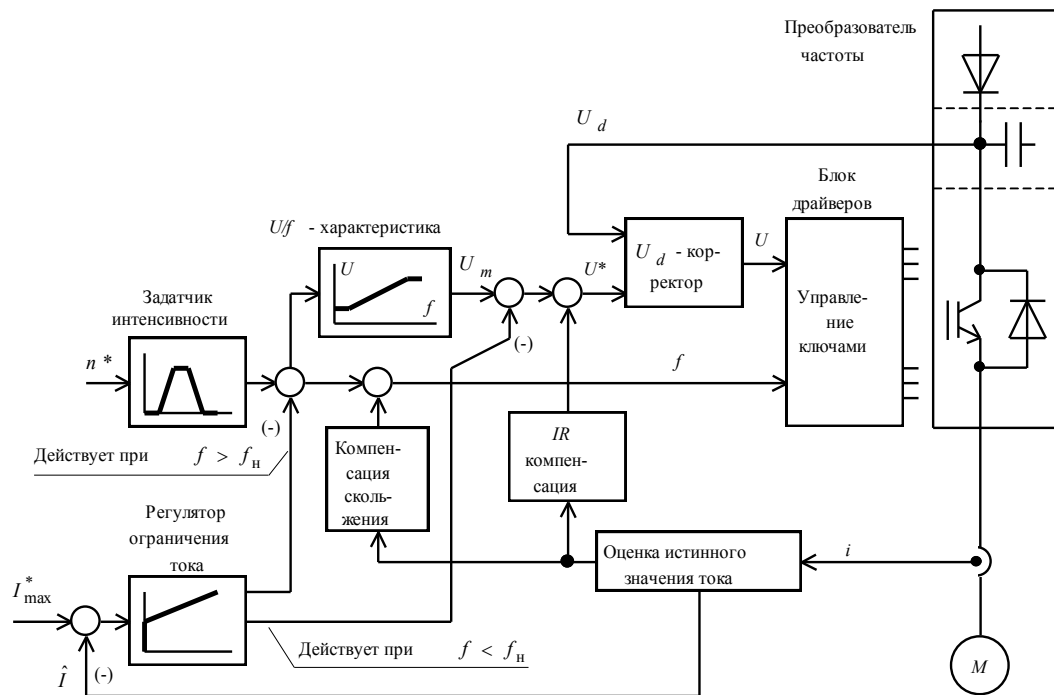


Рисунок 11 – Функциональная схема асинхронного электропривода со скалярным частотным управлением без датчика скорости

Закон частотного регулирования U/f при скалярном управлении выбирается в зависимости от характера нагрузки производственного механизма. Закон управления с линейной зависимостью между напряжением и частотой ($U_1/f_1 = const$) реализуются в преобразователях частоты для приводов производственных механизмов с постоянным моментом нагрузки. Поддержание постоянства отношения $U_1/f_1 = const$ обеспечивает постоянство потокосцепления и критического момента двигателя во всем диапазоне регулирования скорости изменением частоты. Однако это справедливо лишь при пренебрежимо малом активном сопротивлении обмотки статора, практически же при уменьшении частоты уменьшается и максимальный момент двигателя. В простейшем случае для повышения момента двигателя на малых скоростях вращения в преобразователях предусмотрена функция повышения начального значения выходного напряжения (начального напряжения вольт-частотной характеристики), применяются модули U_d -коррекции и IR -компенсации (рис. 10). В результате достигается компенсация уменьшения момента двигателя для

нагрузок с постоянным моментом сопротивления (например, конвейеры, поршневые компрессоры и насосы) или достигается увеличение пускового момента двигателя для нагрузок с высоким моментом трогания (например, экструдеры). Для регулируемых электроприводов центробежных насосов и вентиляторов используется квадратичная зависимость напряжения от частоты ($U_1 / f_1^2 = \text{const}$). За счёт большего снижения напряжения двигателя при уменьшении частоты достигается уменьшение потребляемой электроприводом энергии.

Рисунок 12 - Функциональная схема асинхронного электропривода со скалярным частотным управлением с датчиком скорости

регулятором скорости РС и обратной связью по скорости с датчиком и регулятором скорости (рис. 11).

Для ограничения момента двигателя в пуско-тормозных режимах электропривода механизмов, у которых по технологии невозможны механические перегрузки, применяется задатчик интенсивности (ЗИС) с линейной или *S*-образной характеристикой, который устанавливается на входе электропривода в канале задания скорости. В электроприводах механизмов, для которых большие кратковременные перегрузки и стопорение двигателя являются рабочими режимами, дополнительно предусматривается система ограничения максимального допустимого тока электропривода с датчиком тока и регулятором тока. Выходной сигнал регулятора тока должен так воздействовать на напряжение и частоту статора, чтобы одновременно с ограничением тока происходило и ограничение момента двигателя на допустимом уровне.

Частотно-регулируемый асинхронный электропривод со скалярным управлением может быть и двухзонным, когда при частоте (скорости вращения) выше номинальной напряжение двигателя остаётся постоянным, равным номинальному напряжению. Длительно допустимый и кратковременно допустимый моменты двигателя в этом случае должны быть уменьшены на верхних скоростях.

Преобразователи частоты со скалярным управлением могут использоваться в многодвигательных электроприводах (без обратной связи по скорости) для управления параллельно включенными двигателями. Однако в этом случае необходимо будет решить проблемы распределения нагрузок механически взаимосвязанных двигателей и предотвращения перегрузки отдельных не связанных между собой двигателей.

Системы *IR*-компенсации и компенсации скольжения представляют собой нелинейные положительные обратные связи и их применение необходимо только в области малых скоростей двигателя. Ограничение тока двигателя с помощью датчика и регулятора тока необходимо в системах электроприводов, в которых

возможны кратковременные перегрузки. Это исключит аварийное отключение привода средствами защитной аппаратуры. Применение систем управления с датчиками и регуляторами скорости в электроприводах со скалярным управлением представляется нецелесообразным вообще, а тем более для двигателей с самовентиляцией.

Можно рекомендовать в приводах длительного режима работы с постоянной скоростью и диапазоном регулирования скорости не больше 1:10 и без особых требований к динамике применение простейших структур и законов частотного управления:

- при вентиляторном характере нагрузки разомкнутые структуры регулирования с квадратичным законом управления $\frac{U}{f^2} = const$ и возможно с корректировкой вольт-частотной характеристики в интервале малых частот;
- при постоянной нагрузке разомкнутые структуры с линейным законом управления $\frac{U}{f} = const$ с корректировкой вольт-частотной характеристики и возможно IR -компенсации в области малых частот.

2.2 Выбор электродвигателя и расчет параметров схемы замещения

Справочные технические данные асинхронного электродвигателя YB3 200L-4 представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Паспортные данные электродвигателя

Типо размер	$n_0, \left[\frac{\text{об}}{\text{мин}} \right]$	$U_{1н}, [\text{В}]$	$P_{\text{дв.н}}, [\text{кВт}]$	При номинальной нагрузки		$J_{\text{дв}}, \left[\text{кг} \cdot \text{м}^2 \right]$
				$\cos \varphi_n$	$\eta_n, \%$	
YB3 200L-4.	1500	220	30	0,85	0,923	0,288
$m_k = \frac{M_{\text{макс}}}{M_n}$		$m_n = \frac{M_{\text{пуск}}}{M_n}$		$m_m = \frac{M_{\text{мин}}}{M_n}$		$K_{\text{идв}} = \frac{I_{\text{пуск}}}{I_n} +$
2,4		2,4		2		7,5

Синхронная угловая частота вращения двигателя:

$$\omega_0 = \frac{\pi \cdot n_0}{30} = \frac{3,14 \cdot 1500}{30} = 157,08 \frac{\text{рад}}{\text{с}},$$

где n_0 – синхронная частота вращения, об/мин.

Номинальная угловая частота вращения двигателя:

$$\omega_{\text{дв.н}} = \omega_0 \cdot \left(1 - \frac{s_n}{100} \right) = 157,08 \cdot \left(1 - \frac{1,5}{100} \right) = 154,671 \frac{\text{рад}}{\text{с}},$$

где s_n – номинальное скольжение электродвигателя, %.

Номинальный ток статора двигателя:

$$I_{1фн} = I_{1лн} = \frac{P_{\text{дв.н}}}{3 \cdot U_{1фн} \cdot \cos \varphi_n \cdot \eta_n} = \frac{30 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,85 \cdot 0,923} = 57,937 \text{ А},$$

где $P_{\text{дв.н}}$ – номинальная мощность электродвигателя, кВт;

$U_{1фн}$ – номинальное фазное напряжение, В;

$\cos \varphi_n$ – коэффициент мощности в режиме номинальной мощности, о.е.;

η_n – КПД в режиме номинальной мощности, %;

$I_{1\text{ЛН}}$ – ток, потребляемый двигателем из сети в номинальном режиме работы.

Номинальный момент двигателя:

$$M_{\text{дв.н}} = \frac{P_{\text{дв.н}} \cdot 10^3}{\omega_{\text{дв.н}}} = \frac{30 \cdot 10^3}{154,985} = 191,0 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Ток статора двигателя при частичной нагрузке:

$$I_{1\text{р}^*} = \frac{p^* \cdot P_{\text{дв.н}}}{3 \cdot U_{1\text{фн}} \cdot \cos \varphi_{*75} \cdot \eta_{*75}} = \frac{0,75 \cdot 30 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,85 \cdot 0,692} = 43,926 \text{ А},$$

$\cos=0.81$

где $\cos \varphi_{*75}$ – коэффициент мощности при частичной нагрузке;

η_{*75} – КПД при частичной нагрузке 75% от номинальной;

$p^* = 0.75$ – коэффициент загрузки двигателя.

Ток холостого хода двигателя:

$$I_0 = \sqrt{\frac{I_{1\text{р}^*}^2 - \left[\frac{p^* \cdot (1 - s_{\text{н}})}{(1 - p^* \cdot s_{\text{н}})} \cdot I_{1\text{н}} \right]^2}{1 - \left[\frac{p^* \cdot (1 - s_{\text{н}})}{(1 - p^* \cdot s_{\text{н}})} \right]^2}} = 11,223 \text{ А}.$$

Из формулы Клосса определим соотношение для расчета критического скольжения

$$s_{\text{к}} = s_{\text{н}} \cdot \frac{m_{\text{к}} + \sqrt{(m_{\text{к}})^2 \cdot [1 - 2 \cdot s_{\text{н}} \cdot \beta \cdot (m_{\text{к}} - 1)]}}{1 - 2 \cdot s_{\text{н}} \cdot \beta \cdot (m_{\text{к}} - 1)},$$

$$= 0,1 \cdot \frac{2,2 + \sqrt{2,2^2 \cdot [1 - 2 \cdot 0,1 \cdot 1 \cdot (2,2 - 1)]}}{1 - 2 \cdot 0,1 \cdot 1 \cdot (2,2 - 1)} = 0,072$$

где β – коэффициент, характеризующий соотношение активных сопротивлений статора и ротора, принимаем $\beta=1$.

Активное сопротивление ротора, приведенное к обмотке статора асинхронного двигателя:

$$R_2' = \frac{3 \cdot U_{1\Phi H}^2 \cdot (1 - s_H)}{2 \cdot m_K \cdot P_{дв.н} \cdot C_1^2 \cdot \left(\beta + \frac{1}{s_K} \right)} = 0,065 \text{ Ом},$$

Активное сопротивление статора:

$$R_1 = C_1 \cdot R_2' \cdot \beta = 1,013 \cdot 0,065 \cdot 1 = 0,066.$$

Коэффициент, характеризующий соотношение индуктивного сопротивления короткого замыкания и приведенного активного сопротивления ротора:

$$\gamma = \sqrt{(1 / s_K^2) - \beta^2} = 13,874.$$

Индуктивное сопротивление короткого замыкания в номинальном режиме:

$$X_{кн} = \gamma \cdot C_1 \cdot R_2' = 13,874 \cdot 1,013 \cdot 0,065 = 0,912 \text{ Ом}.$$

Индуктивное сопротивление рассеяния обмотки ротора, приведенной к обмотке статора в номинальном режиме:

$$X_{2\delta}' = 0,58 \cdot \frac{X_{кн}}{C_1} = 0,58 \cdot \frac{0,912}{1,013} = 0,522 \text{ Ом}.$$

Приведенная индуктивность обмотки ротора, обусловленная потоком рассеяния в номинальном режиме:

$$L_{2\delta}' = \frac{X_{2\delta}'}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{0,522}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0016 \text{ Гн}.$$

Индуктивное сопротивление статорной обмотки:

$$X_{1\delta} = 0,42 \cdot X_{кн} = 0,42 \cdot 0,912 = 0,383 \text{ Ом}.$$

Индуктивность обмотки статора, обусловленная потоком рассеяния в номинальном режиме:

$$L_{1\delta} = \frac{X_{1\delta}}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{0,383}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,0012 \text{ Гн}.$$

ЭДС ветви намагничивания, наведенная потоком воздушного зазора в обмотке статора в номинальном режиме

$$E_1 = \sqrt{(U_{1\phi H} \cdot \cos \varphi - R_1 \cdot I_{1H})^2 + (U_{1\phi H} \cdot \sin \varphi - X_{1\delta} \cdot I_{1\phi H})^2} = 205,758 \text{ В.}$$

Индуктивное сопротивление контура намагничивания:

$$X_\mu = \frac{E_1}{I_0} = \frac{205,758}{11,223} = 18,333 \text{ Ом.}$$

Результирующая индуктивность, обусловленная магнитным потоком в воздушном зазоре:

$$L_\mu = \frac{X_\mu}{2 \cdot \pi \cdot f_{1H}} = \frac{18,333}{2 \cdot 3,14 \cdot 50} = 0,058 \text{ Гн.}$$

Расчет параметров двигателя

Эквивалентная индуктивность обмотки статора

$$L_1 = L_{1\sigma} + L_m = 0,0012 + 0,058 = 0,0592 \text{ Гн.}$$

Эквивалентная индуктивность обмотки ротора

$$L_2 = L'_{2\sigma} + L_m = 0,0016 + 0,058 = 0,0596 \text{ Гн.}$$

Эквивалентное сопротивление силовой цепи преобразователь-двигатель

$$R_\Sigma = R_1 + R'_2 \cdot \frac{L_m^2}{L_2^2} = 0,066 + 0,065 \cdot \frac{(0,058)^2}{(0,0596)^2} = 0,127 \text{ Ом.}$$

Эквивалентная электромагнитная постоянная времени силовой цепи

$$T_\Sigma = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_\Sigma} = \frac{0,147 \cdot 0,0592}{0,127} = 0,068 \text{ с,}$$

где

$$\sigma = 1 - \frac{L_m^2}{L_1 \cdot L_2} = 1 - \frac{(0,058)^2}{0,0592 \cdot 0,0596} = 0,046$$

– коэффициент рассеяния.

Электромагнитная постоянная времени цепи ротора

$$T_2 = \frac{L_2}{R'_2} = \frac{0,0596}{0,065} = 0,916 \text{ с.}$$

2.3. Проверка адекватности расчетных параметров двигателя

При найденных параметрах рассчитываются значения номинального электромагнитного момента двигателя $M_{\text{эм.н}}$ и $M_{\text{эм.н}}^*$:

$$M_{\text{эм.н}}(s_{\text{н}}) = M_{\text{эм.н}} = \frac{3 \cdot U_{1\text{фн}}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_{\text{н}} \cdot \left[(X_{\text{кн}})^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_{\text{н}}} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_{\text{н}} \cdot X_{\mu}} \right)^2 \right]} =$$

$$= \frac{3 \cdot 220^2 \cdot 0,065}{157,08 \cdot 1,33 \cdot \left[(0,912)^2 + \left(0,066 + \frac{0,065}{1,33} \right)^2 + \left(\frac{0,066 \cdot 0,065}{1,33 \cdot 18,333} \right)^2 \right]} = 471,393 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M_{\text{эм.н}}^* = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \frac{L_{\mu}}{(L_{\mu} + L_{2\delta}') \cdot \Psi_{2\text{н}}} \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{I_{1\text{н}}^2 - I_0^2} = 420,2 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где $\Psi_{2\text{н}} = 0,92 \text{ Вб}$.

Должны выполняться условия:

$$M_{\text{эм.н}}^* \approx M_{\text{эм.н}} \equiv 2,198 \approx 1,94;$$

$$M_{\text{дв.н}} < M_{\text{эм.н}} \leq 1,1 \cdot M_{\text{дв.н}} \equiv 1,768 < 1,94 < 1,945.$$

По результатам расчета эти условия выполняются.

Расчетные параметры асинхронного электродвигателя:

$$R_1 = 0,066 \text{ Ом}, \quad L_{1\sigma} = 0,0592 \text{ Гн},$$

$$R_2' = 0,065 \text{ Ом}, \quad L_{2\sigma}' = 0,0596 \text{ Гн},$$

$$L_m = 0,058 \text{ Гн}, \quad z_p = 2.$$

$$\omega_{\text{дв.н}} = 154,985 \text{ рад/с}, \quad I_{1\text{фн}} = 43,926 \text{ А}, \quad M_{\text{дв.н}} = 154,9 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$I_0 = 11,223 \text{ А}, \quad M_{\text{эм.н}} = 471,3 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad \Psi_{2\text{н}} = 0,92 \text{ Вб},$$

$$s_{\text{к расч.}} = 0,072 \text{ о.е.}, \quad \Delta M_{\text{с.дв}} = 0,172 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$X_{\text{кн}} = 0,912 \text{ Ом}, \quad X_{1\sigma} = 0,383 \text{ Ом},$$

$$X_{2\sigma}' = 0,522 \text{ Ом}, \quad X_{\mu} = 18,333 \text{ Ом}.$$

2.4. Выбор преобразователя частоты

На основе выбранного электродвигателя, выбираем преобразователь частоты (ПЧ).

Выбираем преобразователь частоты фирмы SchneiderElectric серии ALTIVAR. Преобразователь частоты ALTIVAR 312 (ATV312) предназначен для трехфазных и однофазных асинхронных двигателей с питанием от 220 и 380В до 600В и мощностью от 0,18 до 15 кВт.

Он предназначен для использования на производствах:

- транспортировочное оборудование (небольшие конвейеры, электротали);
- фасовочно-упаковочное оборудование;
- специальные механизмы (мешалки, смесители, текстильные машины);
- вентиляторы, насосы и компрессоры.

Преобразователь Altivar 312 является надежным и компактным, а, также, обладает простотой ввода в эксплуатацию. Встроенные функции адаптированы для его применения в простых производственных механизмах.

Современная концепция и легкость ввода в эксплуатацию изделия позволяют предложить экономичное и надежное решение для разработчиков простых компактных машин (ОЕМ) и интеграторов. Благодаря предлагаемому дополнительному коммуникационному картриду, преобразователь Altivar 312 легко встраивается в большинство систем автоматизации.

Выбор был произведен на основании тока двигателя и мощности (таблица 2).

Таблица 2 – Технические данные

Номер по каталогу	Мощность, кВт	Ток в установленном режиме, А	Перегрузка, 60 сек, А	Мощность рассеивания при номинальной нагрузке, Вт	Габариты, ВхШхГ	Масса, без упаковки, кг.
Трехфазное напряжение питания: 380 - 500 В, 50/60 Гц со встроенными фильтрами ЭМС (3) (5)						
ATV312H037N4	0,37	1,5	2,3	32	143x107x152	1,800
ATV312H055N4	0,55	1,9	2,9	37	143x107x152	1,800
ATV312H075N4	0,75	2,3	3,5	41	143x107x152	1,800
ATV312HU11N4	1,1	3	4,5	48	143x107x152	1,800
ATV312HU15N4	1,5	4,1	6,2	61	143x107x152	1,800
ATV312HU22N4	2,2	5,5	8,3	79	184x142x152	3,100
ATV312HU30N4	3,0	7,1	10,7	125	184x142x152	3,100
ATV312HU40N4	4,0	9,5	14,3	150	184x142x152	3,100
ATV312HU55N4	5,5	14,3	21,5	232	232x180x172	6,500
ATV312HU75N4	7,5	17	25,5	269	232x180x172	6,500
ATV312HD11N4	11	27,7	41,6	397	329,5x245x192	11,000
ATV312HD15N4	15	33	49,5	492	329,5x245x192	11,000

Выбираем преобразователь по номинальному (длительно допустимому) току $I_{и.ном}$ и по мощности. Выбираем ПЧ типа ATV312H037N4.

$$I_{и.ном} = 1,5 \text{ А} \geq I_{дв.ном} = 0,87 \text{ А}$$

$$P_{и.макс.дв} = 0,37 \text{ кВт} \geq P_{ном.дв} = 0,25 \text{ кВт}$$

На основании выше написанного можно сделать вывод, что преобразователь частоты выбран верно.

Параметры ПЧ:

- максимальная мощность подключаемого двигателя – $P_{и.макс.дв} = 0,37 \text{ кВт}$;
- номинальный выходной ток – $I_{и.ном} = 1,5 \text{ А}$;
- масса – 1,800 кг.

На рисунке 13 приведен внешний вид преобразователя.



Рисунок 13 – Внешний вид преобразователя ATV312H037N4

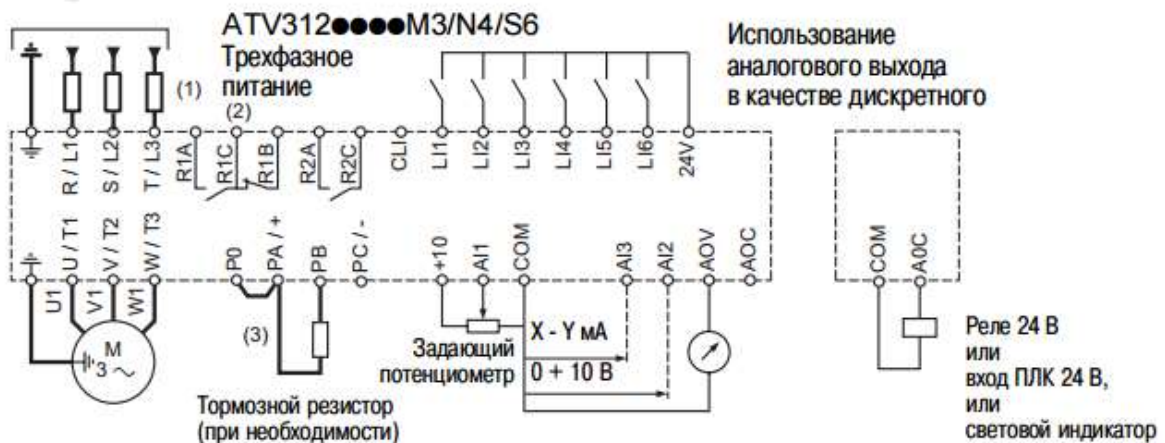


Рисунок 14 – Схема подключения ПЧ

В таблице 3 приведены основные характеристики ПЧ.

Таблица 3 – Основные характеристики ПЧ

Основные характеристики

Коммерческий статус	Коммерциализировано
Семейство продуктов	Altivar 312
Тип изделия или компонента	Привод с регулируемой частотой вращения
Назначение изделия	Асинхронные электродвигатели
Применение изделия	Простая машина
Стиль сборки	С радиатором
Наименование компонента	ATV312
Мощность двигателя, кВт	0.37 кВт
Мощность двигателя, л.с.	0.5 лс
[Us] номинальное напряжение питания	380...500 V (- 15...10 %)
Частота сети питания	50...60 Hz (- 5...5 %)
Число фаз сети	3 фазы
Линейный ток	2.2 А для 380 V, 5 кА 1.7 А для 500 V
Фильтр помех	Встроенный
Полная мощность	1.5 кВт·А
Макс. переходной ток	2.3 А для 60 с
Рассеиваемая мощность, Вт	32 Вт при номинальной нагрузке
Диапазон скоростей	1...50
Профиль управления асинхронным электродвигателем	Заводская настройка: постоянный момент Бессенсорное векторное управление двигателем с помощью сигнала ШИМ
Электрическое соединение	AI1, AI2, AI3, AOV, AOC, R1A, R1B, R1C, R2A, R2B, LI1...LI6 зажим 2.5 мм² AWG 14
Питание	Внутреннее питание для регулировочного потенциометра (2,2 - 10 кОм) при 10...10,8 В ≤ 10 мА для защита от перегрузки и короткого замыкания
Протокол порта обмена данными	CANopen Modbus
Степень защиты IP	IP41 на верхней части IP31 на верхней части IP20 на верхней части без закрывающей пластины
Опциональная карта	Profibus DP коммуникационная карта Modbus TCP коммуникационная карта DeviceNet коммуникационная карта Шлейф CANopen коммуникационная карта

Таблица 4 – Дополнительные характеристики

Дополнительные характеристики

Тормозной момент	100 % без тормозного резистора 100 % с тормозным резистором постоянно
Контур регулирования	ПИ регулятор частоты
Компенсация проскальзывания вала двигателя	Регулируем. Автоматически при любой нагрузке Подавляемый
Выходное напряжение	<= напряжение питания
Момент затяжки	0.6 Н·м AI1, AI2, AI3, AOV, AOC, R1A, R1B, R1C, R2A, R2B, LI1...LI6
Изоляция	Между цепями питания и управления
Номер аналогового входа	3
Тип аналогового входа	AI3 задаваемый ток 0...20 mA, полное сопротивление 250 Ом AI1 задаваем. напряжение 0...10 V, входное напряжение 30 В макс., полное сопротивление 30000 Ом
Длительность выборки	AI1, AI2, AI3 8 мс для аналоговый
Время отклика	R1A, R1B, R1C, R2A, R2B 8 ms для дискретный
Ошибка линеаризации	+/- 0,2 % для выход
Номер аналогового выхода	2
Тип аналогового выхода	AOC задаваемый ток 0...20 mA, полное сопротивление 800 Ом, разрешение 8 бит
Тип дискретных входов	(LI1...LI6) Положительная логика (источник) состояние 0 < 5 В состояние 1 > 11 В (LI1...LI4) Логический вход не подсоединен состояние 1 < 13 В
Количество дискретных выходов	2
Тип дискретного выхода	(R1A, R1B, R1C) задаваем. релейная логика 1 Н.О. + 1 Н.З., электрическая устойчивость 100000 циклы
Минимальный коммутируемый ток	R1-R2 10 mA при 5 V пост. ток
Макс. коммутируемый ток	R1-R2 вкл. резистивные нагрузка, 5 A при 250 V пер. ток, cos phi = 1, L/R = 0 мс R1-R2 вкл. индуктив. нагрузка, 2 A при 30 В пост. ток, cos phi = 0,4, L/R = 7 мс
Количество дискретных входов	6
Тип дискретного входа	(LI1...LI6) программируемый, 24 V 0...100 mA с PLC, полное сопротивление 3500 Ом
Программы ускорения и замедления	Линейн., задается отдельно, от 0,1 до 999,9 с S, U или по выбранный заказчиком
Торможение до остановки	Подачей пост. тока
Тип защиты	Короткое замыкание между фазами двигателя привод Защита от перегрева привод Исчезновения фаз двигателя привод Функция защиты от значительного уменьшения напряжения 3-фазного питания привод Исчезновение фазы на входе привод
Сопротивление изоляции	>= 500 МОм при 500 В пост. тока в течение 1 минуты
Сигнализация	1 светодиод красный для напряжение привода
Разрешение по частоте	Дисплейный блок 0,1 Гц Аналоговый вход 0,1...100 Гц
Тип разъема	1 RJ45 Modbus/CANopen
Физический интерфейс	RS485 многоточечная последовательная линия
Кадр передачи	RTU
Скорость передачи	10, 20, 50, 125, 250, 500 Кбит/с или 1 Мбит/с CANopen
Кол-во адресов	1...247 Modbus
Кол-во приводов	127 CANopen
С маркировкой	CE
Рабочее положение	Вертикальный +/- 10 градусов
Высота	143 мм
Ширина	107 мм
Глубина	152 мм
Масса продукта	1.8 кг

2.4.1 Выбор автоматического выключателя и пускателя

Для защиты двигателей от токов короткого замыкания, токов перегрузки необходимо выбрать автоматические выключатели. Защитные аппараты выбираются по току электромагнитного расцепителя, току теплового расцепителя и току короткого замыкания.

1. Необходимо определить пусковой ток, зная номинальный ток электроприемника:

$$I_{\text{пуск}} = 6,5 \cdot I_{\text{н}} = 6,5 \cdot 1,5 = 9,75 \text{ A}$$

$$I_{\text{пуск}} = 6,5 \cdot I_{\text{н}} = 6,5 \cdot 9,6 = 62,4 \text{ A}$$

2. Определяем кратковременный ток:

$$I_{\text{кр}} = 1,25 \cdot I_{\text{пуск}} = 1,25 \cdot 9,75 = 12,188 \text{ A}$$

$$I_{\text{кр}} = 1,25 \cdot I_{\text{пуск}} = 1,25 \cdot 62,4 = 78 \text{ A}$$

3. Ток электромагнитного расцепителя должен быть больше кратковременного тока:

$$I_{\text{эм}} \geq I_{\text{кр}}$$

По время-токовой характеристике отключения выбираем уставку электромагнитного расцепителя равную 10, т.е.

$$I_{\text{эм}} = 10 \cdot I_{\text{н}} = 10 \cdot 1,5 = 15 \text{ A}$$

где $I_{\text{н}}$ - номинальный ток преобразователя.

Проверка по току короткого замыкания:

$$I_{\text{кз}} \geq I_{\text{эм}}$$

$$I_{\text{кз}} = 10 \cdot I_{\text{н}} = 10 \cdot 1,5 = 15 \text{ A}$$

Выбираем трехполюсный автоматический выключатель серии ВА57-35 с фиксированными и регулируемыми уставками предназначены для применения в цепях с напряжением до 690В переменного тока с частотой 50 Гц для защиты от токов короткого замыкания и перегрузки, недопустимых снижений напряжения, а также нечастых оперативных включений и отключений, номинальным током 16 А [8].

Для коммутации силовой цепи электродвигателя выбираем контактор малогабаритный КМИ 11810.

Технические характеристики контактора приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Технические характеристики КМИ 11810

Параметр	Значение
Номинальное рабочее напряжение переменного тока U_e , В	230
Номинальное напряжение изоляции U_i , В	660
Номинальное импульсное напряжение U_{imp} , кВ	6
Номинальный рабочий ток I_e , А	18, категория применения AC-3 (U_e
Условный тепловой ток I_{th} ($t^\circ < 40^\circ$)	32, категория применения AC-1, А
Номинальная мощность по AC-3, кВт	4 (230 В) / 7.5 (400 В) / 10 (660 В)
Максимальная кратковременная нагрузка	324 (t
Условный ток короткого замыкания I_{nc} , А	3000

2.5 Естественные характеристики электродвигателя

Естественная механическая характеристика электродвигателя строится по выражению:

$$M(\omega) = \frac{m \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_H \cdot \left[\left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_H \cdot X_{\mu}} \right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_H} \right)^2 + X_{KH}^2 \right]}, \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где m - число фаз двигателя;

$U_{1\phi H}$ - номинальное фазное напряжение, В.

Критический момент:

- рассчитанный по параметрам двигателя:

$$M_{эмк} = \frac{m \cdot U_{1\phi H}^2 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot s_K \cdot \left[\left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_K \cdot X_{\mu H}} \right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s_K} \right)^2 + X_{KH}^2 \right]} = 4,106 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

- рассчитанный по паспортным данным:

$$M_{кп} = 3,89 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Критическая угловая скорость:

$$\omega_K = (1 - s_K) \cdot \omega_0 = 74,241 \frac{\text{Рад}}{\text{с}}.$$

На рисунке 15 представлена естественная механическая характеристика электродвигателя.

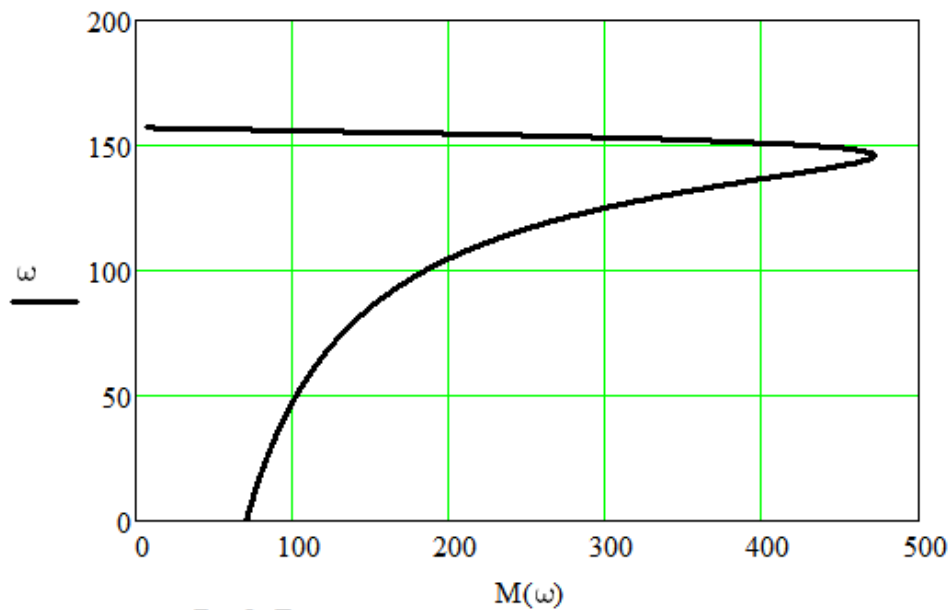


Рисунок 15 – Естественная механическая характеристика двигателя

Естественные электромеханические характеристики электродвигателя строятся по выражениям:

- ток ротора, приведенный к обмотке статора, от скольжения:

$$I_2'(\omega) = \frac{U_{1\phi H}}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s_H}\right)^2 + X_{KH}^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s_H \cdot X_\mu}\right)^2}}, \text{ A.}$$

- ток статора:

$$I_1(\omega) = \sqrt{I_0^2 + I_2'^2 + 2 \cdot I_0 \cdot I_2' \cdot \sin \varphi_2}, \text{ A где}$$

$$\sin \varphi_2 = \frac{X_{KH}}{\sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s_H}\right)^2 + X_{KH}^2}}.$$

На рисунке 16 представлены естественные электромеханические характеристики электродвигателя.

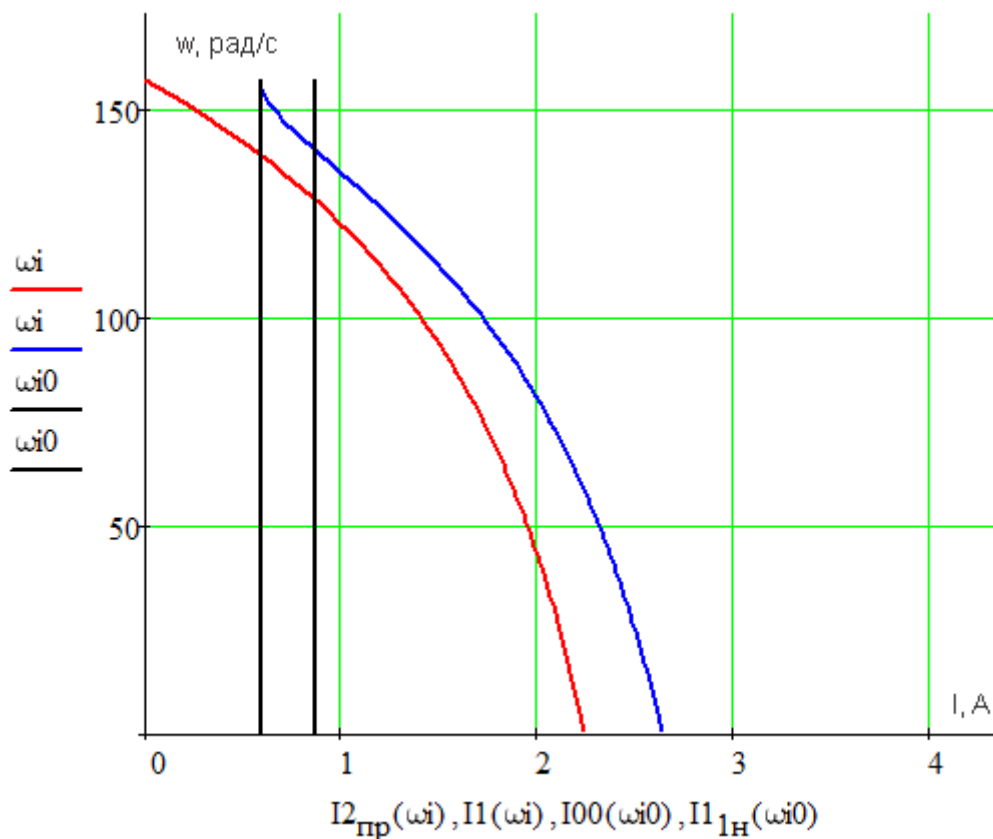


Рисунок 16 – Естественные электромеханические характеристики
электродвигателя

2.6. Механические и электромеханические характеристики при частотном регулировании

После проведенного анализа электропривода вентилятора градирни был выбран закон управления $U / f^2 = const$. Для выбранного закона были построены механические характеристики двигателя, путем изменения значений частоты и напряжения питания согласно выражению:

$$M_{s,f_1} = \frac{3 \cdot U_{1\phi}^2 \cdot f_1 \cdot R_2'}{\omega_0 \cdot \frac{f_1}{f_{1н}} \cdot s \cdot \left[X_{кн}^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1н}} \right)^2 + \left(R_1 + \frac{R_2'}{s} \right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu} \cdot \frac{f_1}{f_{1н}}} \right)^2 \right]}$$

Электромеханические характеристики двигателя при переменных значениях частоты и напряжения питания рассчитываются по выражениям:

$$I_1 \text{ } s, f_1 = \sqrt{I_0 \text{ } f_1^2 + I_2'^2 \text{ } s, f_1 + 2 \cdot I_0 \text{ } f_1 \cdot I_2' \text{ } s, f_1 \cdot \sin \phi_2 \text{ } s, f_1}$$

$$I_2' \text{ } s, f_1 = \frac{U_{1\phi} \text{ } f_1}{\pm \sqrt{\left(R_1 + \frac{R_2'}{s}\right)^2 + X_{\Sigma}^2 \cdot \left(\frac{f_1}{f_{1H}}\right)^2 + \left(\frac{R_1 \cdot R_2'}{s \cdot X_{\mu} \cdot \frac{f_1}{f_{1H}}}\right)^2}}$$

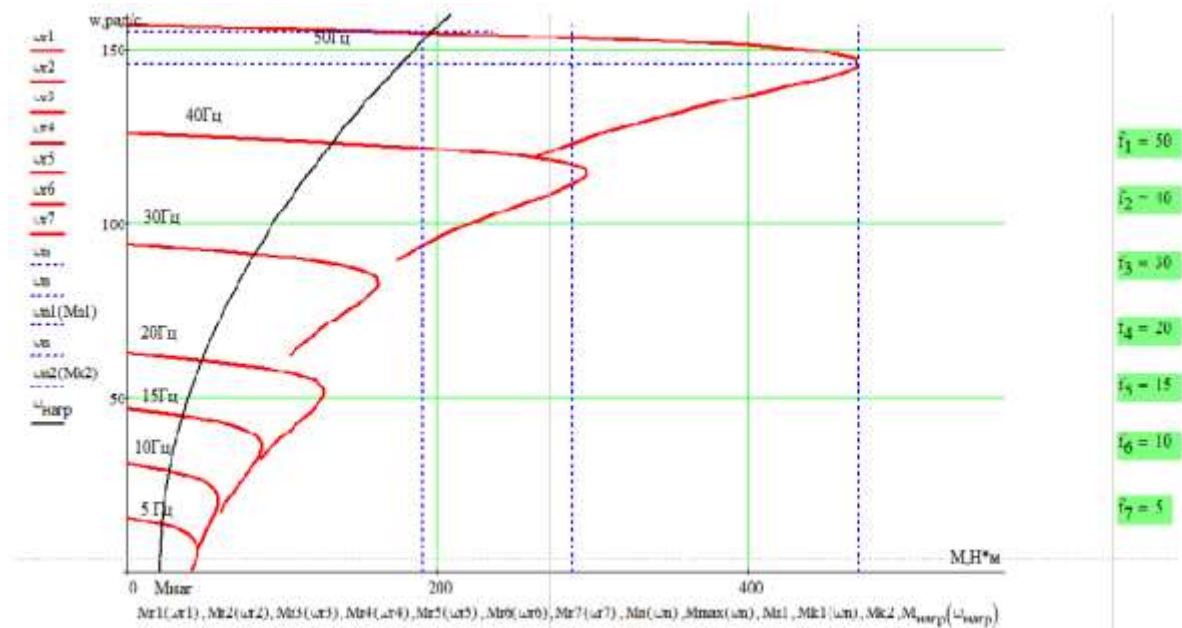


Рисунок 17 – Механические характеристики двигателя при скалярном управлении
и законе регулирования $U / f^2 = const$

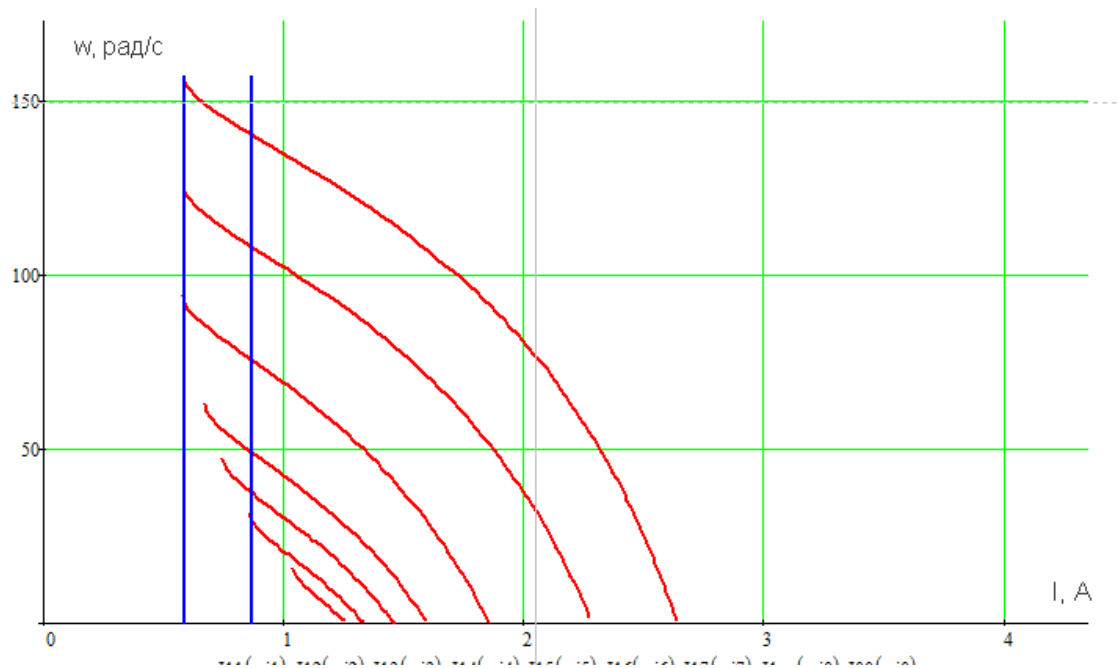


Рисунок 18 – Электромеханические характеристики двигателя при скалярном управлении и законе регулирования $U / f^2 = const$

Расчет параметров преобразователя

Максимальное значение коэффициента усиления преобразователя

$$k_u = \frac{\sqrt{2} \cdot U_{1\phi}}{U_{УПМАКС}} = \frac{\sqrt{2} \cdot 220}{10} = 31,113,$$

где $U_{УПМАКС} = 10$ В – максимальное значение напряжения управления.

Эквивалентная постоянная времени преобразователя

$$T_u = \frac{0,5}{f_u} = \frac{0,5}{4 \cdot 10^3} = 1,25 \cdot 10^{-4} \text{ с},$$

где f_u - несущая частота инвертора, Гц.

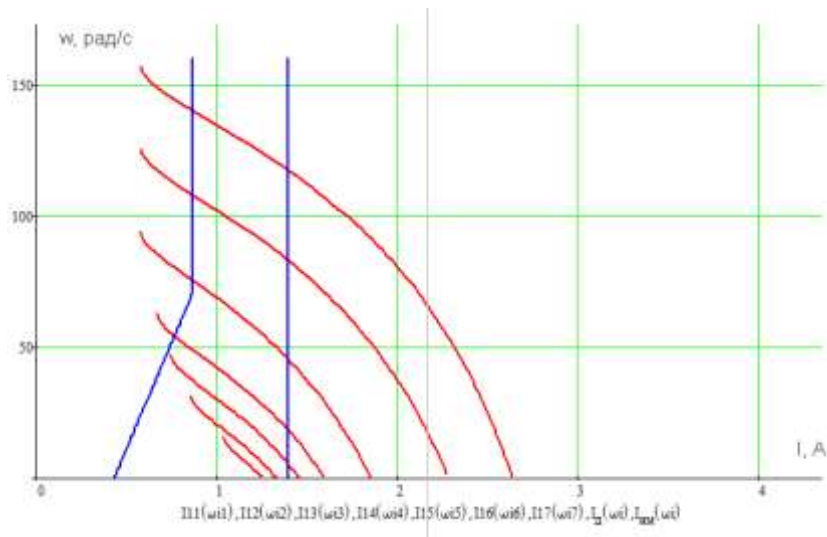


Рисунок 19 – Электромеханические характеристики при длительно допустимом и максимальном токе

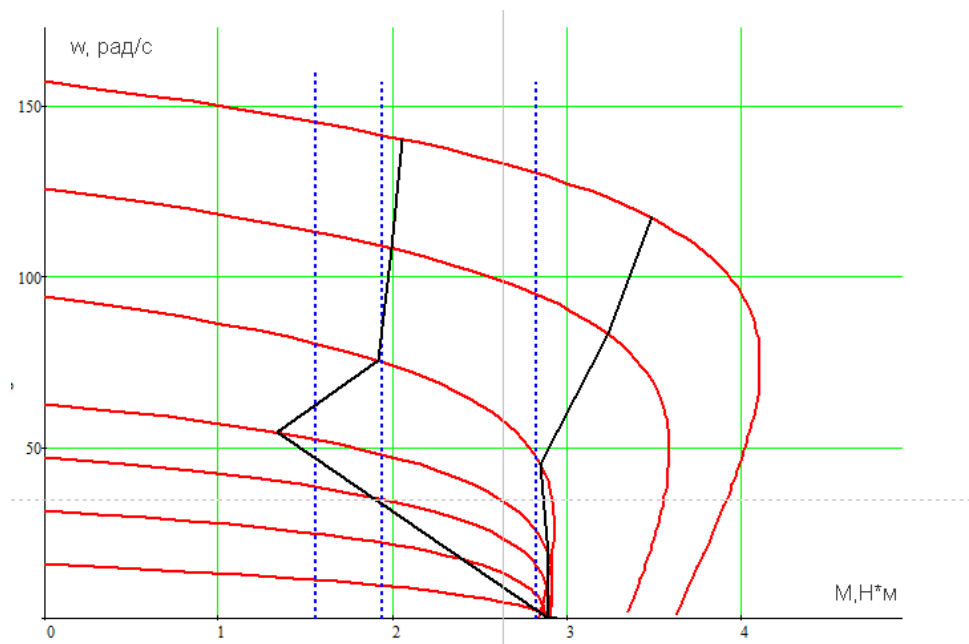


Рисунок 20 – Механические характеристики при длительно и максимальном токе

3 Имитационное моделирование

3.1. Динамическая модель АД во вращающейся системе координат

Математическое описание и структурная схема асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат d, q , ориентированной по вектору потокосцепления ротора [9]:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{1d} = R_{\Sigma} \cdot (T_{\Sigma} \cdot p + 1) \cdot I_{1d} - \frac{R_2' \cdot L_m}{L_2^2} \cdot \Psi_{2d} - \omega_{\text{кc}} \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot I_{1q}; \\ U_{1q} = R_{\Sigma} \cdot (T_{\Sigma} \cdot p + 1) \cdot I_{1q} + \omega_{\text{кc}} \cdot \sigma \cdot L_1 \cdot I_{1d} + \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot \omega \cdot \Psi_{2d}; \\ 0 = (T_2 \cdot p + 1) \cdot \Psi_{2d} - L_m \cdot I_{1d}; \\ \omega_{\text{кc}} = z_p \cdot \omega + \frac{L_m \cdot R_2'}{L_2} \cdot \frac{I_{1q}}{\Psi_{2d}}; \\ M_{\Sigma} = \frac{3}{2} \cdot \frac{L_m}{L_2} \cdot z_p \cdot \Psi_{2d} \cdot I_{1q}; \\ \omega = \frac{1}{J \cdot p} \cdot (M_{\Sigma} - M_{\text{с}}); \\ R_{\Sigma} = R_1 + R_2' \cdot \frac{L_m^2}{L_2^2}; \quad T_{\Sigma} = \frac{\sigma \cdot L_1}{R_{\Sigma}}; \quad T_2 = \frac{L_2}{R_2'} \end{array} \right.$$

где $U_{1d} = U_{1q} = U_1$ – постоянные по форме составляющие напряжения статора в ориентированной по вектору потокосцепления ротора $\vec{\Psi}_2$, вращающейся синхронно с полем статора системе координат d, q ;

I_{1d}, I_{1q} – составляющие тока статора в системе координат d, q , А;

$\Psi_{2d} = \left| \vec{\Psi}_2 \right|$ – потокосцепление ротора в системе координат d, q , Вб.

Уравнениям соответствует приведенная на рисунке 21 структурная схема асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, выполненная во вращающейся системе координат d, q ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора.

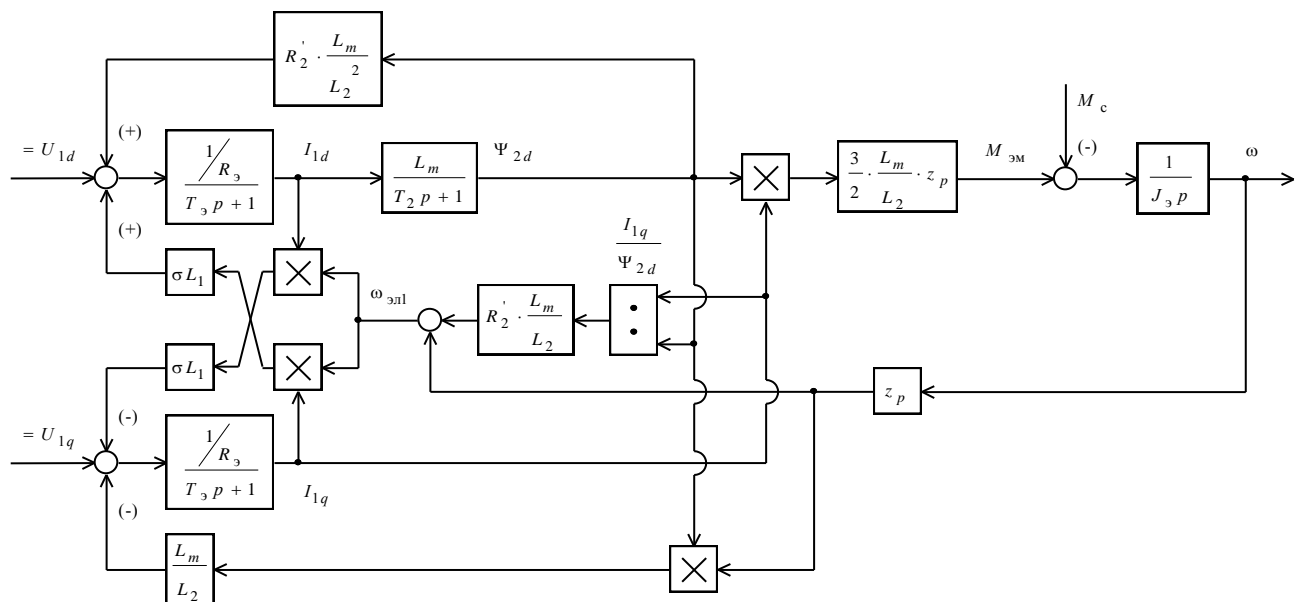


Рисунок 21 – Структурная схема асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором во вращающейся системе координат d, q, ориентированной по результирующему вектору потокосцепления ротора. Параметры схемы замещения сведены в М-File и представлены на рис. 22.

Name	Value
f	50
J	0.2880
Kkm	0.5000
Lm	0.0584
Lr	0.0600
Ls	0.0596
Mnom	198
Nzad	1000
Q	0.0474
Re	0.1275
Rr	0.0650
Rs	0.0660
ScopeData	1401x3 double
ScopeData1	1401x2 double
ScopeData11	1401x2 double
ScopeData3	1401x2 double
ScopeData4	1401x3 double
ScopeData5	1401x3 double
ScopeData8	1401x2 double
T2	0.9238
Te	0.0222
Tkm	0.5000
tout	1000x1 double
Uamp	311.1270
Wfreq	314.1593
zp	2

Рисунок 22 – М-File с паспортными данными и параметрами схемы замещения АД марки YB3 200L-4

Далее по структурной схеме имитационной модели АД во вращающейся системе координат собираем такую же модель в среде Matlab Simulink. Результат собранной имитационной модели представлен на рис. 23. На вход данной модели подается напряжение в системе координат α, β . Далее с помощью преобразования парка вычисляем напряжением в системе координат d, q .

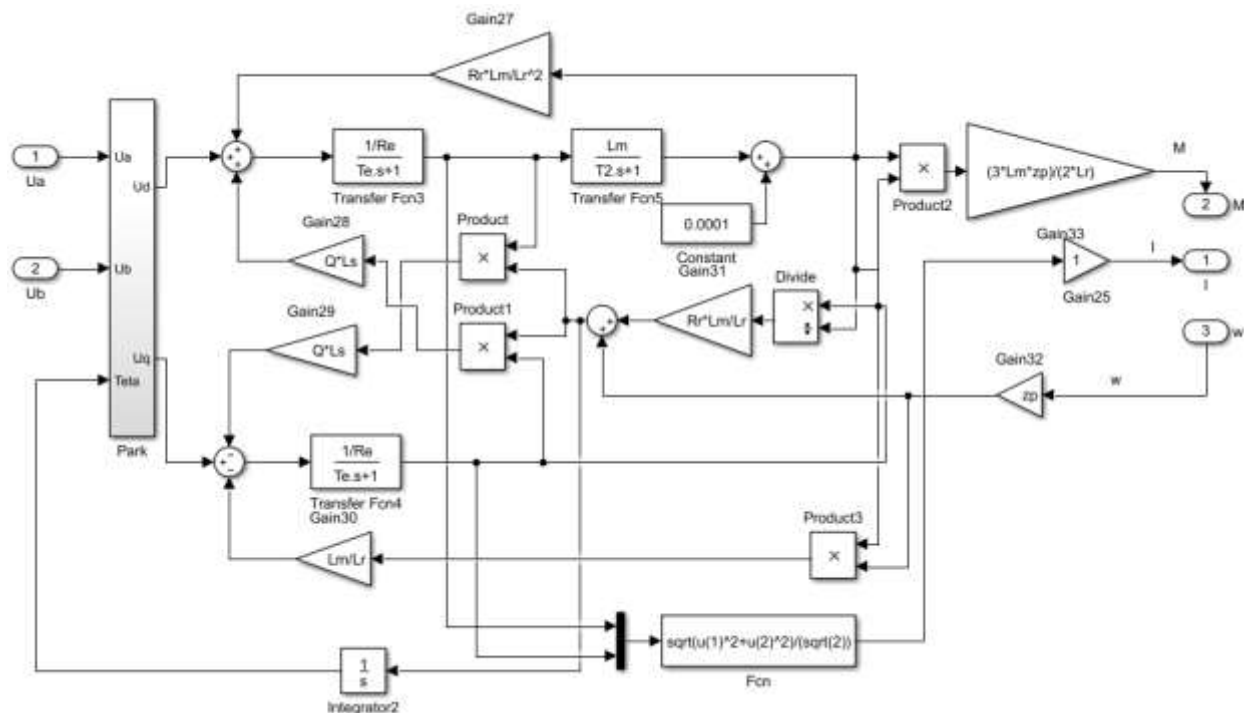


Рисунок 23 – Имитационная модель АД во вращающейся системе координат собранная в среде Matlab Simulink

3.2 Имитационная модель электропривода вентилятора

Имитационная модель электропривода вентилятора, представлена на рис. 24.

Модель состоит из асинхронного двигателя – блок Motor (рисунок 23), вентиляторной нагрузки – блок FAN, механической части – Mechanics, датчика интенсивности – блок ZI, частотного преобразователя – U/f2. Ниже представлена модель каждого блока.

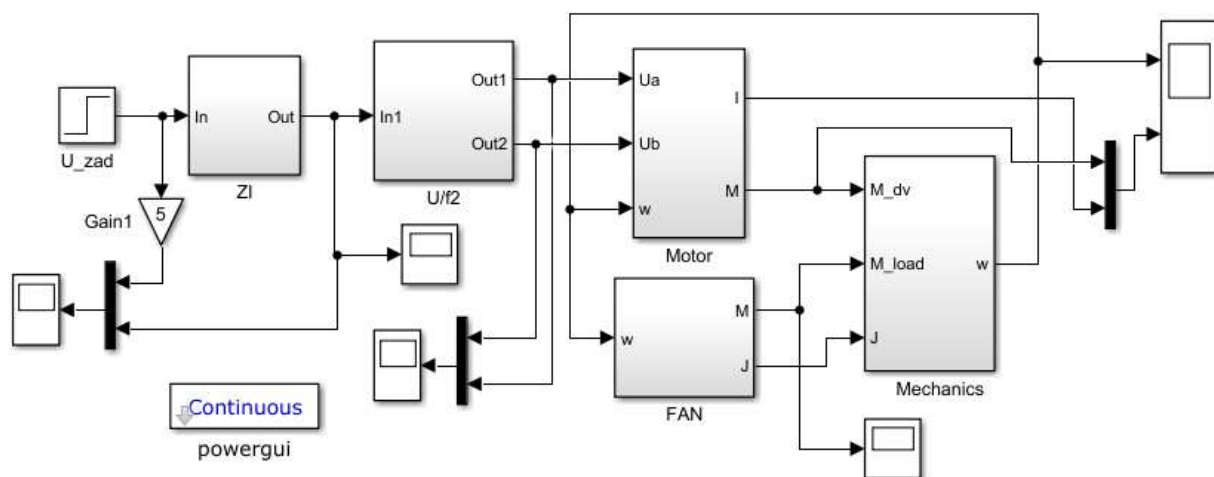


Рисунок 24 – Имитационная модель электропривода вентилятора

Блок задатчика интенсивности представлен на рисунке 25. Задатчик интенсивности был выбран линейным и реализован с помощью интегрирующего звена. Задатчик позволит плавно нарастить частоту, что позволит уменьшить броски тока и колебания момента.

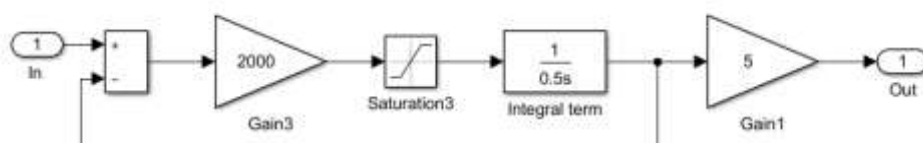


Рисунок 25 – Имитационная модель задачика интенсивности

На рисунке 26 представлен блок, отвечающий за частотное регулирование. Его задача – сформировать двухфазное синусоидальное напряжение нужной частоты и нужной амплитуды. Напряжение вычисляется из заданной частоты с помощью блока Lookup Table. В данный блок в табличном виде занесена кривая U/f^2 , что позволит реализовать скалярный способ управления для вентиляторной нагрузки.

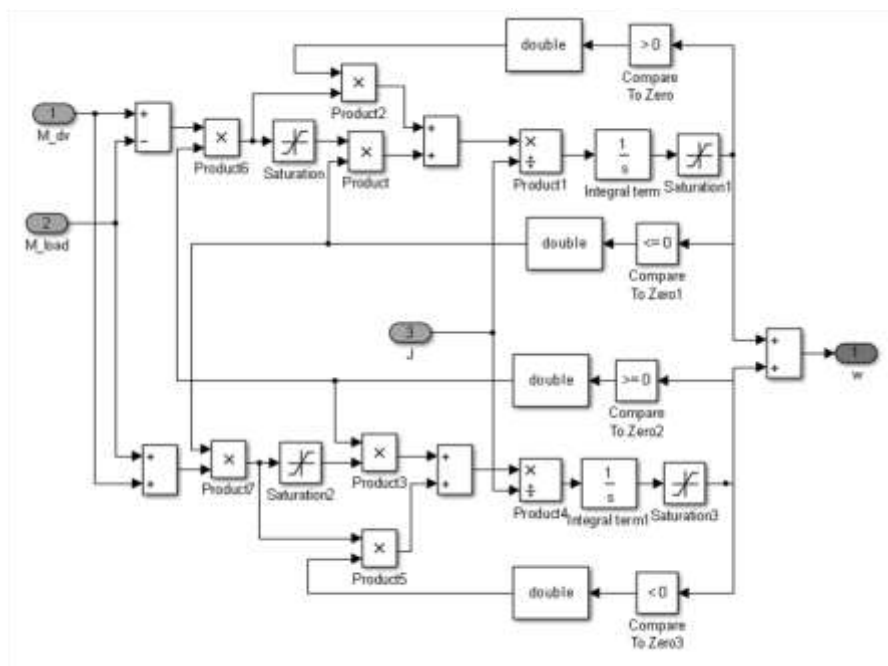


Рисунок 28 – Блок реактивной нагрузки

3.3 Результаты имитационного моделирования электропривода вентилятора

На рисунке 29 представлены переходные процессы скорости, момента и тока асинхронного двигателя при пуске и набросе нагрузки. Наброс нагрузки на реальном электроприводе не происходит. Данный рисунок необходим для проверки адекватности собранной в матлабе имитационной модели. Номинальный момент соответствует номинальной скорости электропривода. Скорость холостого хода соответствует синхронной скорости вращения за вычетом потерь, значит имитационная модель собрана верно.

Самый тяжелый режим работы асинхронного двигателя – пуск. Вначале пуска ротор неподвижен, что соответствует режиму короткого замыкания. Разгон двигателя без нагрузки сопровождается броском тока до 400 А и большими колебаниями момента.

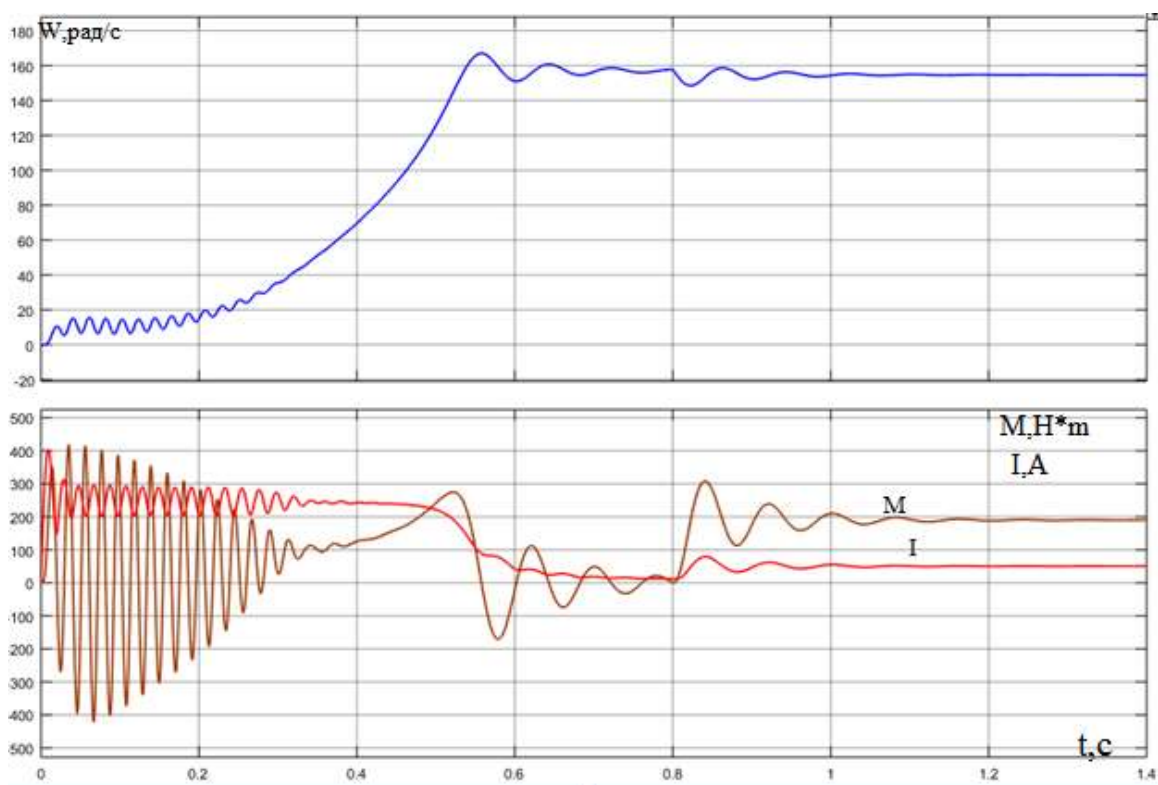


Рисунок 29 – Переходные процессы пуска и наброса нагрузки

Пуск под номинальной нагрузкой будет происходить еще с более большим пусковым током, но на вентиляторной установке этого не происходит. Нагрузка будет возрастать по мере увеличения скорости вращения. Поэтому пуск под номинальной нагрузкой в данной работе не рассматривается. На рисунке 30 представлены переходные процессы скорости, момента и тока при пуске асинхронного двигателя с вентиляторной нагрузкой на валу. Вначале разгона переходный качественно совпадает с рисунком 21. А далее по мере разгона двигатель выходит на номинальный режим работы: 190 Н*м.

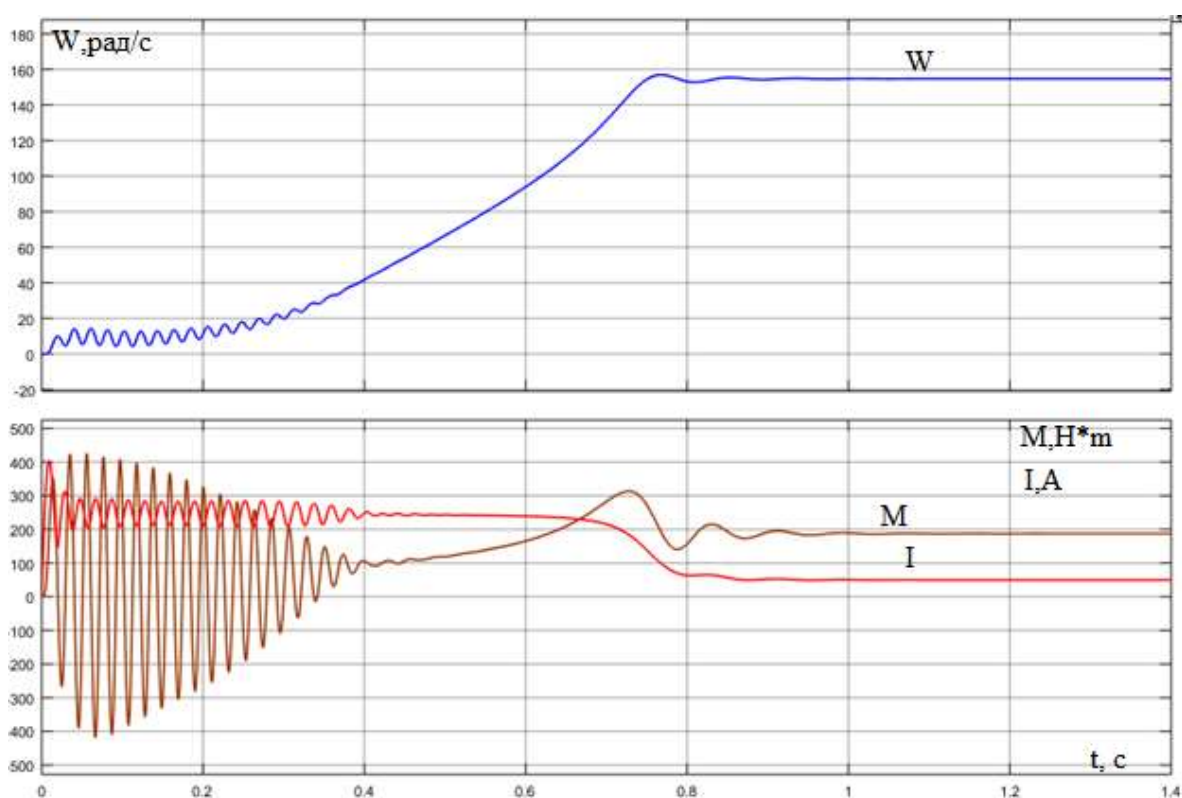


Рисунок 30 – Переходные процессы пуска электропривода с вентиляторной нагрузкой

Для уменьшения броска тока введем задатчик интенсивности. Для общепромышленных механизмов, где не требуется следить за ускорением и рывком, можно использовать линейный задатчик интенсивности, который представлен на рисунке 31. На рисунке 32 представлены переходные процессы формирования напряжений U_α , U_β с задатчиком интенсивности. Из графиков видно, что амплитуда и частота нарастают с разным темпом. Это происходит благодаря работе закону частотного управления.

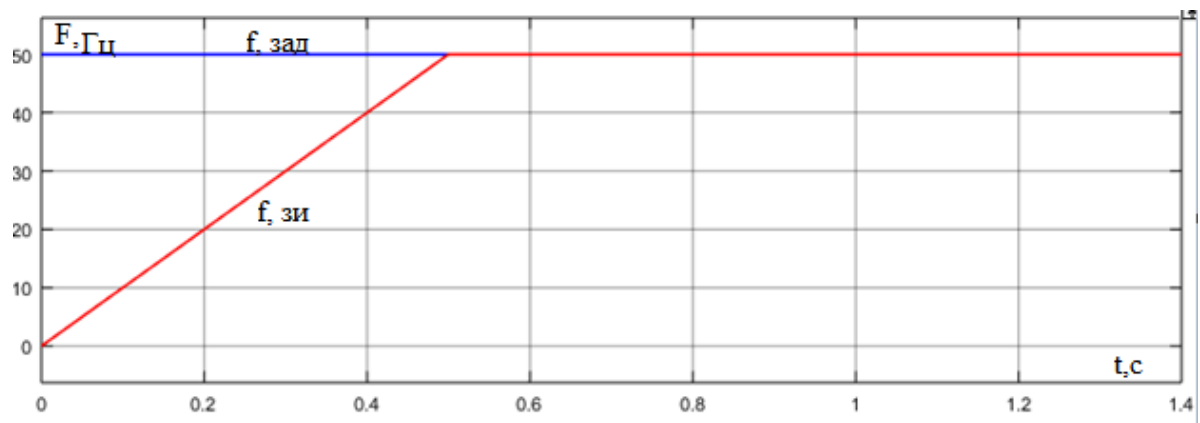


Рисунок 31 – Графики задания частоты по линейному задатчику интенсивности

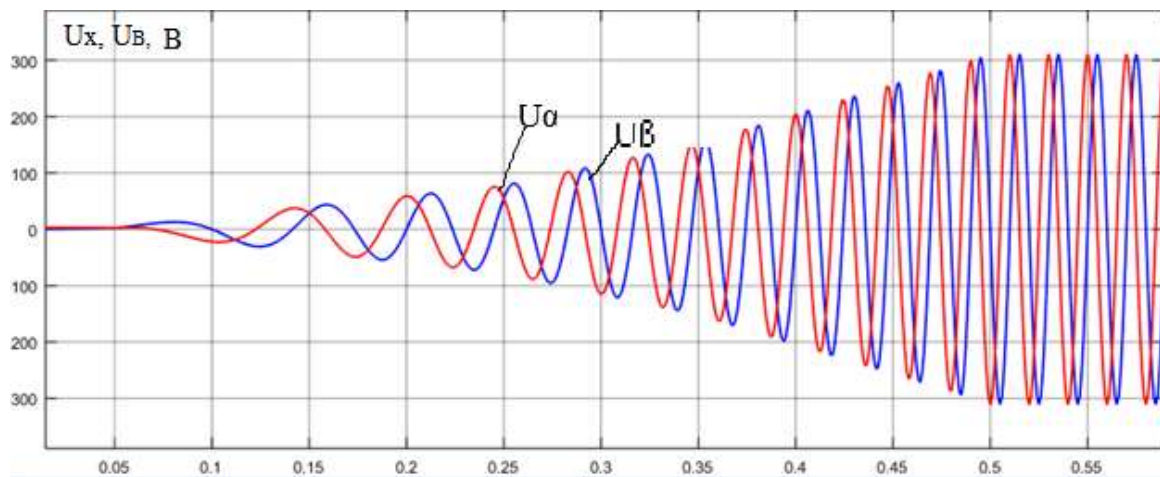


Рисунок 32 – Переходные процессы формирования напряжений U_α , U_β с задатчиком интенсивности

Результаты переходных процессов тока, момента и скорости при пуске электропривода вентилятора с задатчиком интенсивности представлены на рис. 33. Пусковой ток сократился с 400 до 250 А. Значительно уменьшились на колебания момента.

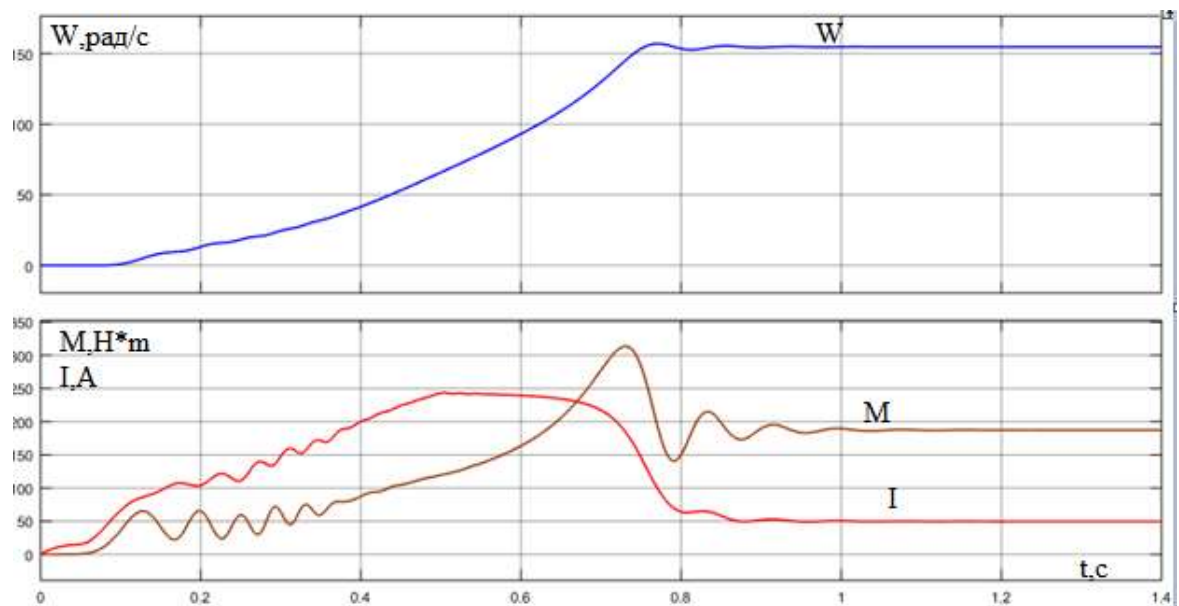


Рисунок 33 – Переходные процессы пуска электропривода с вентиляторной нагрузкой и с задатчиком интенсивности

Необходимость введения задатчика интенсивности можно обосновать с помощью сравнительный анализа, представленного на рис. 34.

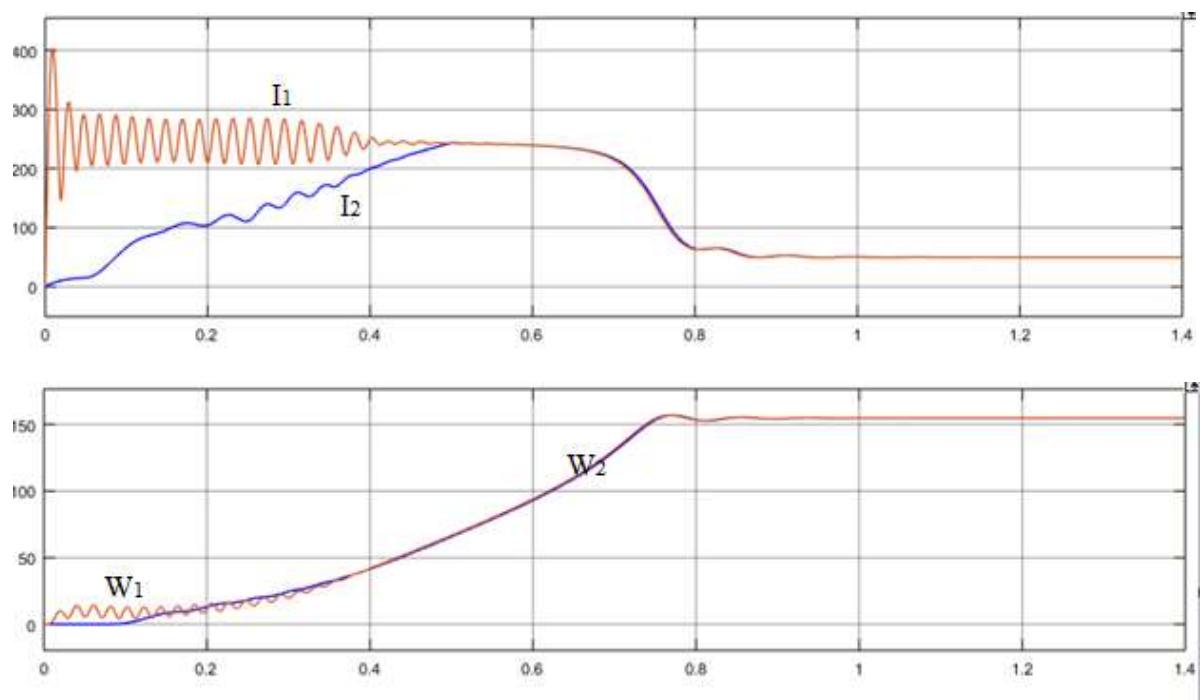


Рисунок 34 – Переходные процессы скорости и тока при пуске электропривода с задатчиком интенсивности и без

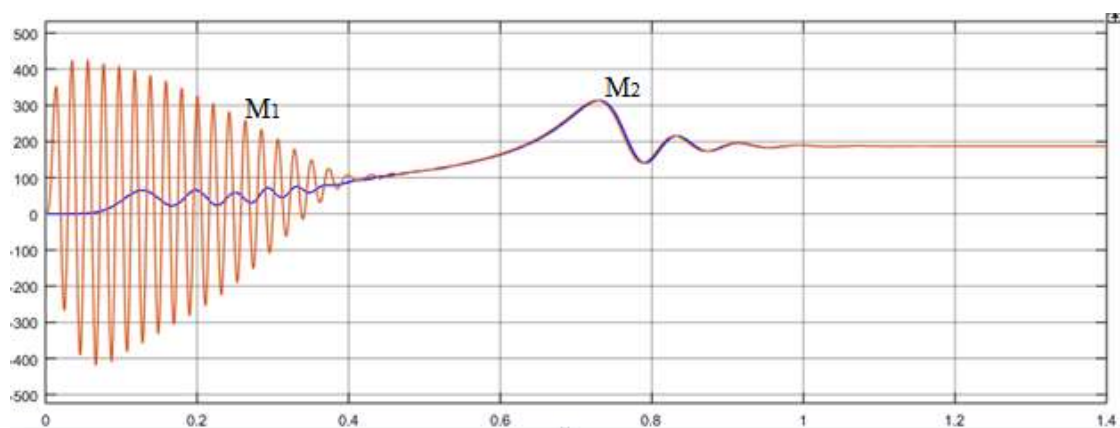


Рисунок 35 – Переходные процессы момента при пуске электропривода с датчиком интенсивности и без

Для обеспечения минимальной скорости на рисунке 36 представлены переходные процессы при пуске на 10 Гц.

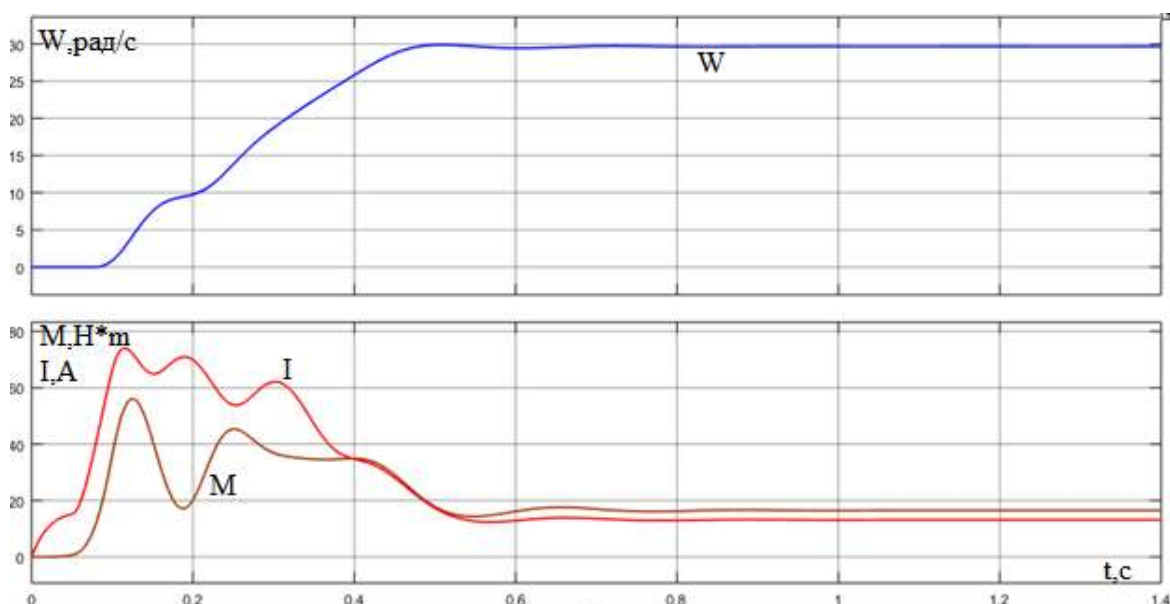


Рисунок 36 – Переходные процессы момента, скорости и тока при пуске электропривода на 10 Гц

Переходные процессы момента, скорости и тока за цикл работы представлены на рисунке 37. Торможение выбегом более долгое и сопровождается броском момента. Поэтому было принято решение торможение осуществлять плавным уменьшением частоты и напряжения. Сравнительные графики торможения свободным выбегом и уменьшением частоты по датчику интенсивности приведены на рисунке 38.

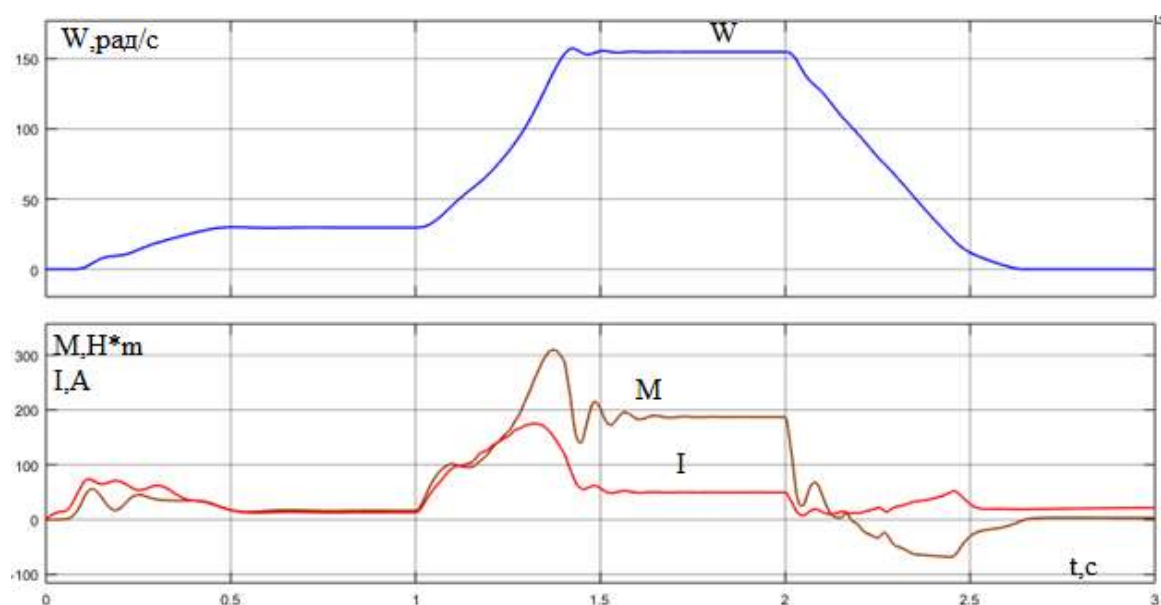


Рисунок 37 – Переходные процессы момента, скорости и тока за цикл работы

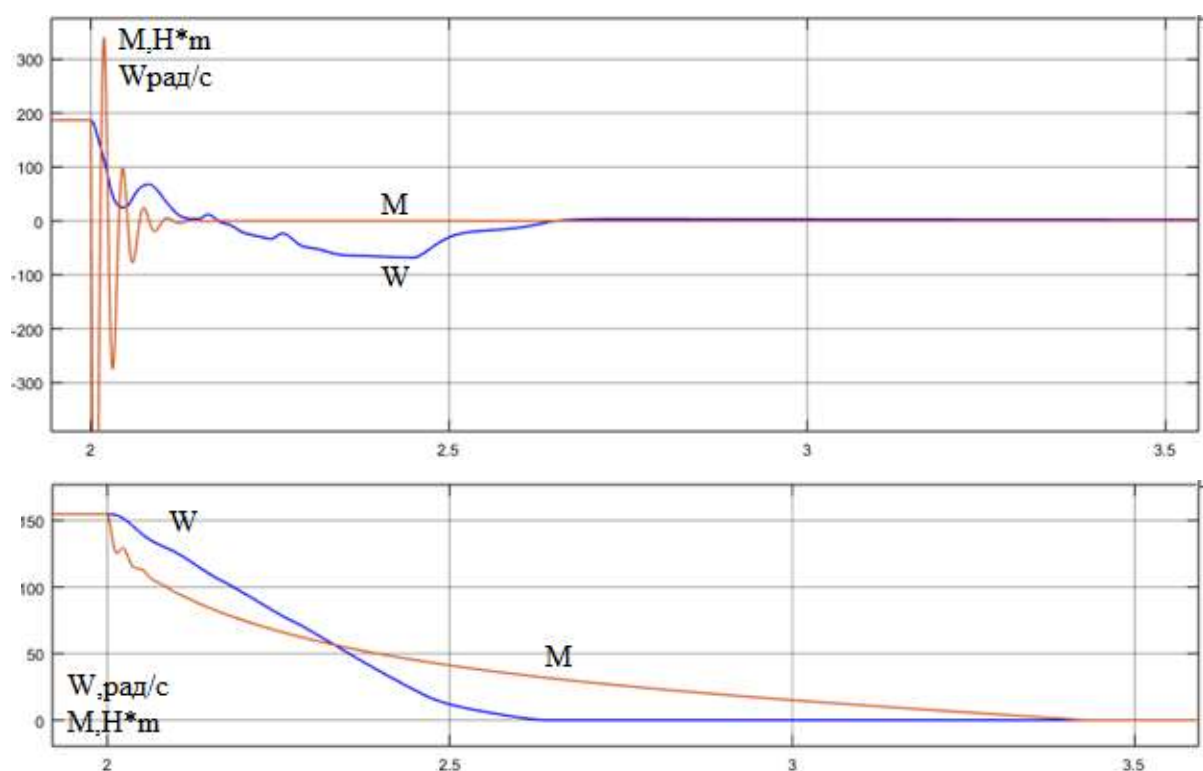


Рисунок 38 – Переходные процессы момента и скорости при торможении выбегом и уменьшением частоты и напряжения по задатчику интенсивности

ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Целью данного раздела является проектирование и создание конкурентоспособных разработок, технологий, отвечающих современным требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

1. Составление SWOT-анализа автоматизированной системы
2. Планирование научно-исследовательских работ
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей) эффективности проекта.

4.1. SWOT-анализ

SWOT - Strengths (сильные стороны), Weakness (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы) – анализ является инструментом стратегического менеджмента. Представляет собой комплексное исследование технического проекта. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Для проведения SWOT-анализа составляется матрица SWOT, в которую записываются слабые и сильные стороны проекта, а также возможности и угрозы.

Сильные стороны. Сильные стороны – это факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону проекта

1. Энергоэффективность;
2. Текущая доля на рынке;
3. Технический уровень производства;
4. Более низкая стоимость ЭЭ по сравнению с другими технологиями;
5. Хорошая инфраструктура.

Слабые стороны. Слабость – это недостаток, упущение или ограниченность научно-исследовательского проекта, которые препятствуют достижению его целей.

1. Потери ЭЭ в электрических сетях составляют 14 %;
2. Занимают большие территории;

3. Большие затраты на доставку сырья.

Возможности. Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта.

Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем.

При составлении матрицы SWOT удобно использовать следующие обозначения:

С – сильные стороны проекта;

Сл – слабые стороны проекта;

В – возможности;

У – угрозы;

Матрица SWOT приведена в таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Матрица SWOT

	Сильные стороны проекта: С1. Высокая энергоэффективность и экономичность технологии. С2. Надежность систем защит и аварийной сигнализации. С3. Большая экономия потребляемой эл. энергии С4. Квалифицированный персонал С5. Небольшие затраты на ремонт оборудования	Слабые стороны проекта: Сл1. Повышенный уровень вибрации Сл2. Аварийные ситуации Сл3. Дороговизна оборудования
--	--	--

<p>Возможности:</p> <p>В1 Экономия электроэнергии за счет использования частотного преобразователя</p> <p>В2. Повышение износостойкости элементов деталей электропривода</p> <p>В3. Резервное питание электропривода питателя пыли</p> <p>В4. Повышение стоимости конкурентных разработок</p>	<p>В1С1С2С3С4;</p> <p>В2С1С4С5;</p> <p>В3С2С4С5;</p> <p>В4С1С3С5;</p>	<p>В1Сл2Сл3;</p> <p>В2Сл1Сл2;</p> <p>В3Сл2Сл3;</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Развитая конкуренция технологий производства</p> <p>У2. Риск несвоевременной поставки оборудования</p> <p>У3. Введения дополнительных государственных требований к стандартизации и сертификации продукции</p> <p>У4. Отсутствие финансового обеспечения со стороны государства</p>	<p>У1С5;</p> <p>У2С5;</p> <p>У3С4;</p> <p>У4С5;</p>	<p>У1Сл3;</p> <p>У3Сл1;</p> <p>У4Сл3;</p>

На основании матрицы SWOT строятся интерактивные матрицы возможностей и угроз, позволяющие оценить эффективность проекта, а также надежность его реализации.

При построении интерактивных матриц используются следующие обозначения:

С – сильные стороны проекта;

Сл – слабые стороны проекта;

В – возможности;

У – угрозы;

«+» – сильное соответствие;

«-» – слабое соответствие;

Таблица 4.2 – Интерактивная матрица возможностей

Возможности	Сильные стороны проекта					
		C1	C2	C3	C4	C5
	B1	+	+	+	+	-
	B2	-	+	-	+	+
	B3	+	+	-	+	+
	B4	+	-	+	-	+
	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3		
	B1	-	+	+		
	B2	+	+	-		
	B3	-	+	+		
	B4	-	-	-		

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица угроз

Угрозы	Сильные стороны проекта					
		C1	C2	C3	C4	C5
	Y1	-	-	-	-	+
	Y2	-	-	-	-	+
	Y3	-	-	-	+	-
	Y4	-	-	-	-	+
	Слабые стороны проекта					
		Сл1	Сл2	Сл3		
	Y1	-	-	+		
	Y2	=	-	-		
	Y3	+	-	-		
	Y4	-	-	+		

В результате проведения SWOT-анализа были выявлены как сильные, так и слабые стороны технического проекта. Данный технический проект имеет несколько важных преимуществ. Самый важный это - надежность защит и аварийной сигнализации, так как несвоевременная ликвидация ошибок и аварий может повлечь за собой опасность для жизни людей, а также нарушение технологического процесса. Кроме того, большая экономия потребляемой электрической энергии и высокое качество питающего напряжения показывает перспективность проекта в целом. Угрозы имеют низкие вероятности, что говорит о высокой надежности проекта.

Подробная оценка конкурентоспособности разработки будет представлена в разделе Анализ конкурентоспособности и ресурсоэффективности проекта.

4.2. Планирование научно-исследовательских работ

Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

В данном разделе составляется перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования автоматизированной системы дозирования и смешивания комбикорма, провести распределение исполнителей, в состав которых входят руководитель и студент по видам работ. Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 5.

Таблица 4. 5 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме, примерный план работ	Научный руководитель
	3	Выбор направления оптимизационной задачи	студент

	4	Календарное планирование работ	руководитель
Теоретические исследования	5	Выбор элементов автоматизированной системы	студент
	6	Расчет параметров схемы замещения АД	студент
	7	Выбор структуры и расчет параметров регуляторов автоматизированной системы	студент
	8	Имитационное моделирование автоматизированной системы	Студент и руководитель
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	Студент и научным руководителем
Разработка технической документации	10	Оценка надежности полученных результатов	Научный руководитель
	11	Вопросы безопасности и экологичности проекта	Научный руководитель
Оформление отчета	12	Составление пояснительной записки	студент
	13	Проверка работы	руководитель

Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ож\ i}$ используется следующая формула:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{\min\ i} + 2t_{\max\ i}}{5} \quad (1)$$

где $t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ — минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ — максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Рассчитаем ожидаемое значение трудоёмкости для различных этапов:

$$\begin{aligned}
 t_{\text{ож}_1} &= \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 5}{5} = 3,8 \text{ чел.} - \text{дн}; & t_{\text{ож}_2} &= \frac{3 \cdot 5 + 2 \cdot 8}{5} = 6,2 \text{ чел.} - \text{дн}; \\
 t_{\text{ож}_3} &= \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 3}{5} = 2,4 \text{ чел.} - \text{дн}; & t_{\text{ож}_4} &= \frac{3 \cdot 1 + 2 \cdot 2}{5} = 1,4 \text{ чел.} - \text{дн}; \\
 t_{\text{ож}_5} &= \frac{3 \cdot 6 + 2 \cdot 8}{5} = 6,8 \text{ чел.} - \text{дн}; & t_{\text{ож}_6} &= \frac{3 \cdot 2 + 2 \cdot 3}{5} = 2,4 \text{ чел.} - \text{дн}; \\
 t_{\text{ож}_7} &= \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 5}{5} = 3,8 \text{ чел.} - \text{дн}; & t_{\text{ож}_8} &= \frac{3 \cdot 15 + 2 \cdot 20}{5} = 17 \text{ чел.} - \text{дн}; \\
 t_{\text{ож}_9} &= \frac{3 \cdot 5 + 2 \cdot 8}{5} = 6,2 \text{ чел.} - \text{дн}; & t_{\text{ож}_{10}} &= \frac{3 \cdot 5 + 2 \cdot 8}{5} = 6,2 \text{ чел.} - \text{дн}; \\
 t_{\text{ож}_{11}} &= \frac{3 \cdot 3 + 2 \cdot 4}{5} = 3,4 \text{ чел.} - \text{дн}; & t_{\text{ож}_{12}} &= \frac{3 \cdot 5 + 2 \cdot 7}{5} = 5,8 \text{ чел.} - \text{дн};
 \end{aligned}$$

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями, по следующей формуле:

$$T_{p_i} = \frac{t_{\text{ож}i}}{Ч_i} \quad (2)$$

где T_{p_i} — продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{\text{ож}i}$ — ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

Ч_i – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

При проектировании и разработки моделей все действия выполняются последовательно, соответственно продолжительность каждой работы будет равна $T_{pi} = t_{ож\ i}$.

Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал};$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}},$$

где $T_{кал}$ – количество календарных дней в году;

$T_{вых}$ – количество выходных дней в году;

Определим коэффициент календарности на 2018 год:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 126} = 1,527.$$

Тогда длительность четвертой работы в календарных днях:

$$T_{к4} = T_{p4} \cdot k_{кал} = 1,4 \cdot 1,527 = 2,138 \approx 2 \text{ дн.}$$

Таблица 4.6 - Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ (чел-дни)			Длительность работ в рабочих днях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях T_{ki}
	t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$		
Составление и утверждение технического задания (схем моделирования, проектирования)	3	5	3,8	3,8	6
Подбор и изучение материалов по теме, примерный план работ	5	8	6,2	6,2	10
Выбор направления оптимизационной задачи	2	3	2,4	2,4	4
Календарное планирование работ	1	2	1,4	1,4	2
Разработка вариантов проектирования	6	8	6,8	6,8	10
Выбор программного обеспечения для расчетов	2	3	2,4	2,4	4
Сравнение возможных вариантов по ряду критериев	3	5	3,8	3,8	6
Расчет основных и аварийных принципов функционирования	15	20	17	17	26
Оценка эффективности полученных результатов	5	8	6,2	6,2	10
Оценка надежности полученных результатов	5	8	6,2	6,2	10
Вопросы безопасности и экологичности проекта	3	4	3,4	3,4	5
Составление пояснительной записки по проекту	5	7	5,8	5,8	9
Итого	55	81	65,4	65,4	102

Таблица 4.7 – Календарный план-график проведения исследований

При планировании технических работ был разработан график занятости для двух исполнителей (научного руководителя, дипломника), составлена ленточная диаграмма Ганта. Данная диаграмма позволяет более качественно оценить и спланировать время работы исполнителей проекта.

Согласно составленному календарному плану с учетом вероятностного характера выполнения работ (благоприятный, неблагоприятный) продолжительность проектирования составляет 10 полных декад, начиная со первой декады февраля, заканчивая третьей декадой мая.

Далее, по диаграмме Ганта можно наглядно оценить показатели рабочего времени для каждого исполнителя. Продолжительность выполнения проекта в рабочих днях составит 102 дня, из которых 64 дней – продолжительность выполнения работ инженером, а 38 дней – продолжительность выполнения работ руководителем.

Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- затраты на специальное оборудование для научных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

4.3. Затраты на специальную программную среду для научных работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального ПО, необходимого для проведения работ по конкретной теме. В таблице 4.8. представлен расчет бюджета затрат на приобретение ПО для научных работ.

Таблица 4.8 – Расчет бюджета затрат на приобретение ПО для научных работ

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во единиц оборудования	Цена единицы оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб
1	Программное электронное устройство (компьютер)	1	22000руб	22000руб
2	Лицензия программы «Matlab»	1	21000руб	21000руб
ИТОГО				43000рубл

*- при курсе доллара 61,81руб., евро 75,45руб.

Полная заработная плата исполнителей темы

Полная заработная плата включает основную и дополнительную заработную плату и определяется как:

$$З_{полн} = З_{осн} + З_{доп},$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата; $З_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы окладов и тарифных ставок.

Заработная плата инженера главного специалиста определяется как:

$$З_{п} = З_{осн} + З_{доп};$$

где $З_{доп}$ – дополнительная заработная плата, составляет $0,15 \cdot З_{осн}$;

$З_{осн}$ – основная заработная плата.

Размер основной заработной платы определяется по формуле:

$$З_{осн} = З_{дн} \cdot T_p;$$

где $z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата; T_p – суммарная продолжительность работ, выполняемая научно-техническим работником.

Размер среднедневной заработной платы рассчитывается по формуле:

$$z_{\text{дн}} = \frac{z_M \cdot M}{F_{\text{д}}};$$

где z_M – месячный оклад научно-технического работника;

M – количество месяцев работы без отпуска ($M = 10$ для пятидневной рабочей недели и отпуске в 48 календарных дней);

$F_{\text{д}}$ – действительный годовой фонд научно технического персонала (определяется за вычетом выходных, праздничных и больничных дней).

Месячный оклад научно-технического работника определяется по формуле:

$$z_M = z_{TC} \cdot (1 + k_{np}) \cdot k_p;$$

где z_{TC} – заработная плата по тарифной ставке;

k_{np} – премиальный коэффициент, 0,15;

k_p – районный коэффициент, для наших исследуемых зон возьмем усредненный 1,3.

Размер заработной платы по тарифной ставке определяется по формуле:

$$z_{TC} = T_{ci} \cdot k_T;$$

где T_{ci} – тарифная ставка работника; k_T – тарифный коэффициент в зависимости от ставки.

С помощью представленных выше формул находим основную заработную плату руководителя НТИ:

$$z_{TC} = T_{ci} \cdot k_T = 26300 \cdot 1,407 = 37004 \text{ руб};$$

$$z_M = z_{TC} \cdot (1 + k_{np} + k_{\text{д}}) \cdot k_p = 37004 \cdot (1 + 0,3) \cdot 1,3 = 62536,76 \text{ руб};$$

$$З_{\text{он}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{62536,76 \cdot 10}{365 - 126} = 2616,6 \text{ руб}$$

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{он}} \cdot T_{\text{р}} = 2616,6 \cdot \frac{30}{8} = 9812,25 \text{ руб};$$

$$З_{\text{п}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}} = З_{\text{осн}} + 0,15 \cdot З_{\text{осн}} = 9812,25 + 0,15 \cdot 9812,25 = 11284,08 \text{ руб}.$$

По аналогии рассчитаем заработную плату студента-дипломника за данную исследовательскую работу:

$$З_{\text{ТС}} = T_{\text{си}} \cdot k_{\text{Т}} = 17000 \cdot 1 = 17000 \text{ руб};$$

$$З_{\text{м}} = З_{\text{ТС}} \cdot (1 + k_{\text{нр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}} = 17000 \cdot (1 + 0,3) \cdot 1,3 = 28730 \text{ руб};$$

$$З_{\text{он}} = \frac{З_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} = \frac{28730 \cdot 10}{365 - 126} = 1202,09 \text{ руб}$$

$$З_{\text{осн}} = З_{\text{он}} \cdot T_{\text{р}} = 1202,09 \cdot \frac{576}{8} = 96550,62 \text{ руб};$$

$$З_{\text{п}} = З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}} = З_{\text{осн}} + 0,15 \cdot З_{\text{осн}} = 96550,62 + 0,15 \cdot 96550,62 = 111033,213 \text{ руб}.$$

Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}),$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

На основании пункта 1 ст.58 Федерального закона №212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2015 году вводится пониженная ставка – 30,2%.

Отчисления во внебюджетные фонды составят:

$$З_{внеб1} = 0,302 \cdot (9812,25) = 2963,299 \text{ руб.}$$

$$З_{внеб2} = 0,302 \cdot (96550,62) = 29158,287 \text{ руб.}$$

Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не включенные в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{накл} = З_{проч.} \cdot k_{нр} = (З_{спец} + З_{осн} + З_{доп} + З_{внеб}) \cdot 0,16 = \\ = (39000 + 106362,87 + 15954,4 + 32121,586) \cdot 0,16 = 30950,2 \text{ руб}$$

где $k_{нр}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величина коэффициента накладных расходов принимается в размере 16%.

4.4. Формирование сметы технического проекта

Рассчитанная величина затрат технического проекта является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку проекта.

Определение суммы затрат на технический проект приведено в таблице 4.9.

Таблица 4.9 - Смета затрат технического проекта

Наименование статьи	Сумма, тыс. руб.	Доля, %
1. Материальные затраты	39	17,38
2. Затраты по полной заработной плате исполнителей темы	122,317	54,52
3. Отчисления во внебюджетные фонды	32,121	14,32
4. Накладные расходы	30,9	13,77
Итого	224,338	100,0

Составление сметы технического проекта позволило оценить первоначальную сумму затрат на реализацию технического проекта. Смета затрат на разработку технического проекта составляет 224,338 тыс. руб, из которых

более половины (54,52 %) составляют затраты на оплату труда исполнителей проекта. По этим данным можно определить, стоит ли проводить дополнительные мероприятия по оптимизации затрат на проект или нет.

Оценка конкурентоспособности и ресурсоэффективности проекта.

С этой целью может быть использована вся имеющаяся информация о конкурентных разработках:

- технические характеристики проекта;
- конкурентоспособность проекта;
- уровень завершенности научного исследования (наличие макета, прототипа, модели и т.п.);
- бюджет разработки и т.д.

Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения позволяет провести оценку сравнительной эффективности научного проекта и определить направления для его будущего повышения и реализации.

Для оценки ресурсоэффективности проекта были подобраны критерии эффективности такие как: экономичность, безопасность, обеспечение надлежащего качества и надежности прибора, сфера применения и удобство использования.

1. Экономичность - оптимизация затрат на электрическую часть предприятия на стадии проектирования приводит к их уменьшению на доли процентов, в абсолютном же измерении речь идет об экономии значительных средств.

2. Под обеспечением надлежащего качества и надежности прибора понимается поставка потребителю нового, неизношенного прибора с допустимыми показателями его качества и исключения ситуаций, опасных для людей и окружающей среды.

3. Безопасность - это свойство прибора сохранять с некоторой вероятностью безопасное состояние при выполнении заданных функций в условиях, установленных нормативно-технической документацией.

Критерии ресурсоэффективности и их количественные характеристики приведены в таблице 4.

Таблица 4.10 - Сравнительная оценка характеристик проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Балльная оценка разработки	Конкурентоспособность
1. Качество и надежность исполнение	0,25	5	1,25
2. Сфера применения и удобство использования	0,25	5	1,25
3. Безопасность	0,3	5	1,5
4. Экономичность	0,2	4	0,8
Итого:	1,00		4,8

Позиция оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Значения показателей, определяемые экспертным путем, в сумме составляют 1. Анализ конкурентоспособности проекта определяется согласно выражению:

$$K = \sum B_i \cdot B_i,$$

где K – конкурентоспособность научной разработки; B_i – вес показателя (в долях единицы); B_i – балл i -го показателя.

Тогда

$$K_{k\Sigma} = 0,25 \cdot 5 + 0,25 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 + 0,2 \cdot 4 = 4,8$$

Показатель ресурсоэффективности проекта имеет достаточно высокое значение (по 5-балльной шкале), что говорит об эффективности использования

технического проекта. Высокие баллы качества, надежности и безопасности позволяют судить о надежности системы.

Из всего вышеперечисленного можно сделать вывод о том, что реализация данного технического проекта позволяет увеличить эффективность прибора.

СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

В данной магистерской диссертации разрабатывается математическая модель электропривода переменного тока вентилятора сухой градирни.

Целью данного раздела является выявление и анализ вопросов, связанных с организацией рабочего места, производственной санитарией, техникой производственной безопасности и охраной окружающей среды. Основной задачей является создание допустимых норм для улучшения условий труда, обеспечения производственной безопасности человека, повышения его производительности, сохранения работоспособности в процессе деятельности, а также охраны окружающей среды.

В процессе работы предполагается сбор информации об объекте исследования, её обработка, проведение математических расчетов. Итогом работы будет представление моделей объектов исследования, составление рекомендаций касательно их работы, а также дополнительные комментарии к результатам исследования.

Выполняется в закрытом помещении (кабинет, аудитория) на персональном компьютере, с помощью которого обрабатывается вся информация.

Следует отметить, что меры по охране труда при работе с персональным компьютером должны носить комплексный характер и включать в себя полный спектр работ, направленных на ликвидацию источников вреда.

5.1 Производственная безопасность

Согласно ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация» [1] в помещении лаборатории на разработчика могут негативно действовать следующие опасные и вредные производственные факторы (ОВПФ):

Опасные производственные факторы (ОПФ):

- опасность поражения электрическим током;

Вредные производственные факторы (ВПФ):

- повышенная и пониженная температура воздуха рабочей зоны;

- повышенная или пониженная подвижность воздуха;
- повышенная интенсивность теплового излучения рабочей зоны;
- повышенная и пониженная влажность воздуха;
- недостаточная освещенность рабочей зоны;
- повышенный уровень статического электричества;
- повышенная яркость света;
- повышенный уровень электромагнитных излучений;
- повышенный уровень шума.

Далее более подробно рассмотрены опасные и вредные факторы, воздействующие на разработчика, возникшие в связи с разработкой данной системы.

5.2 Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности

5.2.1 Производственные метеословия

В настоящее время компьютерная техника широко применяется во всех областях деятельности человека. При работе с компьютером человек подвергается воздействию ряда опасных и вредных производственных факторов. В соответствии с нормативно-технической документации при нормировании параметров микроклимата выделяют: теплый период года — период года, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха выше $+10^{\circ}\text{C}$, холодный период года — период года, характеризуемый среднесуточной температурой наружного воздуха равной $+10^{\circ}\text{C}$ и ниже. Среднесуточная температура наружного воздуха — средняя величина температуры наружного воздуха, измеренная в определенные часы суток через одинаковые интервалы времени. Она принимается по данным метеорологической службы. Разграничение работ по категориям осуществляется на основе интенсивности общих энерготрат организма в ккал/ч (Вт).

Микроклимат производственных помещений — это климат внутренней среды этих помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности и скорости движения воздуха

Лаборатория является помещением I а категории (с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч, производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением), поэтому должны соблюдаться следующие требования, приведенные в таблице 5.1:

Таблица 5.1 – Оптимальные параметры микроклимата во всех типах учебных помещений с использованием ПЭВМ [3]

Температура, °С	Относ. влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
19	62	< 0,1
20	58	< 0,1
21	55	< 0,1

В помещениях, оборудованных ПЭВМ, проводится ежедневная влажная уборка и систематическое проветривание после каждого часа работы на ЭВМ. [3]

Для создания и автоматического поддержания в лаборатории независимо от наружных условий оптимальных значений температуры, влажности, чистоты и скорости движения воздуха, в холодное время года используется водяное отопление, в теплое время года применяется кондиционирование воздуха. Кондиционер представляет собой вентиляционную установку, которая с помощью приборов автоматического регулирования поддерживает в помещении заданные параметры воздушной среды.

5.2.2. Недостаточная освещенность рабочей зоны

Рабочее освещение следует предусматривать для всех помещений зданий, а также участков открытых пространств, предназначенных для работы, прохода людей и движения транспорта. Для помещений, имеющих зоны с разными условиями естественного освещения и различными режимами работы, необходимо раздельное управление освещением таких зон. Существует три вида освещения - естественное, искусственное и совмещенное (естественное и искусственное вместе).

Естественное освещение - освещение помещений дневным светом, проникающим через световые проемы в наружных ограждающих конструкциях помещений. Естественное освещение характеризуется тем, что меняется в широких пределах в зависимости от времени дня, времени года, характера области и ряда других факторов.

Искусственное освещение применяется при работе в темное время суток и днем, когда не удастся обеспечить нормированные значения коэффициента естественного освещения (пасмурная погода, короткий световой день). Освещение, при котором недостаточное по нормам естественное освещение дополняется искусственным, называется совмещенным освещением.

Искусственное освещение подразделяется на рабочее, аварийное, эвакуационное, охранное. Рабочее освещение, в свою очередь, может быть общим или комбинированным. Общее - освещение, при котором светильники размещаются в верхней зоне помещения равномерно или применительно к расположению оборудования. Комбинированное - освещение, при котором к общему добавляется местное освещение.

Согласно СНиП II-4-79 в помещениях вычислительных центров необходимо применить систему комбинированного освещения.

При выполнении работ категории высокой зрительной точности (наименьший размер объекта различения 0,3...0,5мм) величина коэффициента естественного освещения (КЕО) должна быть не ниже 1,5%, а при зрительной работе средней точности (наименьший размер объекта различения 0,5...1,0 мм) КЕО должен быть не ниже 1,0%. В качестве источников искусственного освещения обычно используются люминесцентные лампы типа ЛБ или ДРЛ, которые попарно объединяются в светильники, которые должны располагаться над рабочими поверхностями равномерно [13].

Требования к освещенности в помещениях, где установлены компьютеры, следующие: при выполнении зрительных работ высокой точности общая освещенность должна составлять 300лк, а комбинированная - 750лк; аналогичные требования при выполнении работ средней точности - 200 и 300лк

соответственно. Кроме того, все поле зрения должно быть освещено достаточно равномерно – это основное гигиеническое требование. Иными словами, степень освещения помещения и яркость экрана компьютера должны быть примерно одинаковыми, т.к. яркий свет в районе периферийного зрения значительно увеличивает напряженность глаз и, как следствие, приводит к их быстрой утомляемости. Оценка освещенности рабочей зоны необходима для обеспечения нормативных условий работы в помещениях и проводится в соответствии с СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03.В таблице 5.2 приведены характеристики исследуемого помещения.

Таблица 5.2 – Характеристики помещения

Размеры помещения, м	15x5x3
Кол. х Площадь окна, м ²	2 х 2,8
По количеству пыли	Малое
Характеристика помещения по пожароопасности	Непожароопасное

Помимо этого, нормируются светотехнические параметры дисплея, размеры монитора и символов, цветовые параметры, яркость дисплея, частота обновления кадров, которые влияют на состояние зрения. Низкая освещенность дисплея ухудшает восприятие информации, а слишком высокая приводит к уменьшению контраста изображения знаков, что вызывает усталость глаз, именно из-за нагрузки на зрение через непродолжительное время у пользователя возникает головная боль и головокружение. Если работать на компьютере достаточно долго, то зрительное переутомление может привести к устойчивому снижению остроты зрения. Основными осложнениями при длительной работе на компьютере являются утомление глаз и возникновение головной боли. Существенным фактором, влияющим на утомление глаз, является частота перевода взгляда с дисплея на клавиатуру.

Таблица 5.3 – Допустимые визуальные параметры устройств отображения информации

N	Параметры	Допустимые значения
1	Яркость белого поля	Не менее 35 кд/кв.м
2	Неравномерность яркости рабочего поля	Не более $\pm 20\%$
3	Контрастность (для монохромного режима)	Не менее 3:1
4	Временная нестабильность изображения (непреднамеренное изменение во времени яркости изображения на экране дисплея)	Не должна фиксироваться
5	Пространственная нестабильность изображения (непреднамеренные изменения положения фрагментов изображения на экране)	Не более $2 \times 10(-4L)$, где L - проектное расстояние наблюдения, мм

5.2.3.Повышенный уровень шума

В помещениях с низким уровнем общего шума, каким является лаборатория, где работает разработчика, источниками шумовых помех могут стать вентиляционные установки, кондиционеры или периферийное оборудование для ЭВМ (плоттеры, принтеры и др). Длительное воздействие этих шумов отрицательно сказываются на эмоциональном состоянии персонала.

Согласно ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. «Шум. Общие требования безопасности» [15] эквивалентный уровень звука не должен превышать 50 дБА. Для того, чтобы добиться этого уровня шума рекомендуется применять звукопоглощающее покрытие стен.

В качестве мер по снижению шума можно предложить следующее:

- облицовка потолка и стен звукопоглощающим материалом (снижает шум на 6-8 дБ);
- экранирование рабочего места (постановкой перегородок, диафрагм);
- установка в компьютерных помещениях оборудования, производящего минимальный шум;
- рациональная планировка помещения.

Допускаемые уровни звукового давления в октавных полосах частот, уровни звука и эквивалентные уровни звука на рабочих местах следует принимать [15]:

Таблица 5.4 – Допускаемые уровни звукового давления на рабочих местах

Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровни звука и эквивалентные уровни звука, дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Повышенный уровень электромагнитных излучений

Каждое устройство, которое производит или потребляет электроэнергию, создает электромагнитное излучение. Это излучение концентрируется вокруг устройства в виде электромагнитного поля. Гигиенические требования к показателям электромагнитного поля и ионизирующего излучения персонального компьютера приведены в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Гигиенические требования к показателям электромагнитного поля и ионизирующего излучения персонального компьютера

Нормируемый параметр	ПДУ
Мощность экспозиционной дозы рентгеновского излучения на рас- стоянии 5 см от монитора	100 мкР/час
Напряженность электрического поля на расстоянии 50 см от монитора в диапазоне частот: 5 Гц – 2 кГц 2 – 400 кГц	25 В/м 2,5 В/м
Плотность потока магнитной индукции на расстоянии 50 см от монитора в диапазоне частот: 5 Гц – 2 кГц 2 – 400 кГц	250 нТл 25 нТл
Эквивалентный поверхностный электростатический потенциал экрана монитора	500 В

Основную опасность для здоровья пользователя (и находящихся вблизи от ПК лиц) представляет электромагнитное излучение в диапазоне 20 – 400 кГц,

создаваемое отклоняющей системой кинескопа и видеомонитора. Многочисленные экспериментальные данные, свидетельствующие о влиянии ЭМП на живой организм (на молекулярном и клеточном уровне) – нервную, эндокринную, иммунную и кроветворную системы организма.

Самой опасной является низкочастотная составляющая ЭМП (до 100 Гц), способствующая изменению биохимической реакции крови на клеточном уровне. Это приводит к возникновению у человека симптомов раздражительности, нервного напряжения и стресса, вызывает осложнения в течение беременности и увеличение в несколько раз вероятности выкидышей, способствует нарушению репродуктивной функции и возникновению рака.

Видеомонитор создает вокруг себя ЭМП как низкой, так и высокой частоты, что способствует появлению электростатического поля и ведет к деионизации воздуха вокруг, а это влияет на развитие клеток тканей организма, увеличивает вероятность возникновения катаракты.

В целях предосторожности следует обязательно использовать защитные экраны, а также рекомендуется ограничивать продолжительность работы с экраном ВДТ, не размещать их концентрированно в рабочей зоне и выключать их, если на них не работают.

Наряду с этим нужно устанавливать в помещении с ВДТ ионизаторы воздуха, чаще проветривать помещение и хотя бы один раз в течение рабочей смены очищать экран от пыли.

5.3 Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды

5.3.1 Электроопасность

Помещение лаборатории по опасности поражения электрическим током можно отнести к помещениям без повышенной опасности (сухое, беспыльное, с нормальной температурой воздуха и изолированными полами). [17]

Опасное и вредное воздействие на людей электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей проявляется в виде электротравм и профессиональных заболеваний.

Техническое использование работающих электроустановок производится электротехническим персоналом согласно с ведомственными Правилами технической эксплуатации электроустановок (ПТЭ) и Правилами технической безопасности при эксплуатации электроустановок (ПТБ). Работающими - называют электроустановки или их участки, находящиеся под напряжением или на которые напряжение можно подать включением коммутационных аппаратов (выключателей, отделителей, разъединителей и др.).

Обслуживание электроустановок осуществляется административно-техническими, дежурными, ремонтными или оперативно-ремонтными электротехническими работниками.

Люди из числа дежурного и оперативно - ремонтного персонала обязаны пройти необходимую теоретическую подготовку, обучение на рабочем месте и проверку знаний ПТЭ и ПТБ.

Эффективное обслуживание предполагает повторяющиеся осмотры электрооборудования распределительных устройств, приборов релейной защиты и автоматики, кабельных и воздушных линий, а также производство обязательных оперативных переключений.

В период использования электроустановок выполняются работы, рассчитанные графиками планово-предупредительного ремонта рабочего электрооборудования, профилактические опробования изоляции электрических машин, кабелей, наладка и проверка аппаратуры управления электроприводами, релейной защиты и автоматики, возможны внеплановые ремонты, ликвидация последствий аварий и так далее.

Перед работой на электроустановках и в ходе ее выполнения обязательно выполнять организационные и технические мероприятия, гарантирующие безопасность труда.

В действующих электроустановках существует три категории принятия мер

безопасности во время проведения работ:

- Снятие напряжения с токоведущих частей;
- Применение электрозащитных средств при работах на токоведущих частях;
- Под напряжением на нетоковедущих частях.

Обязательно применить дальнейшие технические процедуры для безопасного проведения работ с полным или частичным снятием напряжения в электроустановках насосной станции:

- Выполнить отключения и принять меры, блокирующие подачу напряжения к месту работы;
- Повесить на рукоятках коммутационных аппаратов запрещающие плакаты: "Не включать - работают люди!";
- Убедиться в отсутствии остаточного напряжения индикатором.

Помещение вентилятора охлаждения градирни относится к сооружениям особой опасности. Данное сооружение имеет токопроводящие полы, так же возможно одновременное прикосновение к металлическим корпусам электрооборудования и заземленным конструкциям.

При аварии, во время работы электроустановок насосной станции может появиться напряжение на металлических шкафах электрооборудования, электродвигателях и металлических частях пульта управления и других нетоковедущих частях. В связи с этим при контакте металлических установок с телом человека может произойти замыкание электрической цепи. Сейчас действует закон, который распространяется почти на все электроустановки постоянного и переменного токов и определяет нормы предельно допустимых для человека значений напряжения прикосновения и протекающих через его тело токов.

Управление этими уровнями тока должно производиться измерениями этих величин в выше указанных местах, где может произойти замыкание электрической цепи через тело человека.

Все существующие мероприятия, обеспечивающие безопасность использования электроэнергии, можно условно разделить на три группы.

Организационные мероприятия включают в себя:

- правильный подбор персонала, обслуживающего электроустановки (запрещение использования труда лиц моложе 18 лет, а также не обученных и не прошедших медицинское освидетельствование для работы данного вида);
- обучение правилам безопасности при обслуживании электроустановок, т. е. проведение специального обучения для выполнения работ с повышенной опасностью, аттестации, инструктажей по безопасности труда, разработка и издание инструкций по охране труда, применение средств пропаганды правил электробезопасности (плакатов, видеофильмов и пр.);
- назначение ответственных за электрохозяйство лиц;
- контроль за правильностью устройства электропроводок и установкой электрооборудования в соответствии с ПУЭ;
- проведение периодических осмотров, измерений и испытаний электрооборудования (в сухих помещениях — 1 раз в два года, в сырых — ежегодно, при этом сопротивление рабочей изоляции проводов, кабелей и электрооборудования в процессе эксплуатации не должно быть менее 0,5 и 2 М Ом для двойной или усиленной изоляции), а в случае несоответствия предъявляемым требованиям — его ремонта;

Заземление корпуса ЭВМ обеспечено подведением заземляющей жилы к питающим розеткам. Сопротивление заземления 4 Ом, согласно [8] для электроустановок с напряжением до 1000 В.

5.4 Экологическая безопасность

В данном подразделе рассматривается характер воздействия проектируемого решения на окружающую среду. Выявляются предполагаемые источники загрязнения окружающей среды, возникающие в результате реализации предлагаемых в магистерской диссертации решений.

5.4.1 Анализ влияния объекта исследования на окружающую среду

Объектом исследования является программное обеспечение – программный реализуемый алгоритм, позволяющий производить определение характеристик электрической нагрузки промышленных потребителей и как таковой не может нанести отрицательного влияния на окружающую среду. Но в данном подразделе целесообразно рассмотреть влияние, оказываемое компьютерной техникой, которая используется потребителями данного ПО.

Основными составляющими частями персонального компьютера (ПК) является: системный блок (процессор) и разнообразные устройства ввода/вывода информации: клавиатура, дисковые накопители, принтер, сканер, и т.п. Каждый персональный компьютер включает средство визуального отображения информации называемое по-разному - монитор, дисплей. ПК часто оснащают сетевыми фильтрами, источниками бесперебойного питания и другим вспомогательным электрооборудованием. Все эти элементы при работе ПК формируют сложную электромагнитную обстановку на рабочем столе пользователя. По обобщенным данным, у работающих за монитором от 2 до 6 часов в сутки чаще наблюдаются функциональные нарушения центральной нервной системы, болезни сердечно-сосудистой системы, болезни опорно-двигательного аппарата. С увеличением продолжительности работы на компьютере соотношение здоровых и больных среди пользователей резко возрастает.

Компьютеры не подпадают под общее положение, они должны быть утилизированы в определенном порядке и только на предприятиях, имеющих официальные разрешения на переработку опасных отходов и металлолома.

Этапы работ по утилизации компьютеров:

- Первый шаг – создание комиссии на предприятии, имеющем технику, подлежащую утилизации. Это внутренняя комиссия, которая создается для коллективного принятия решения о том, какая именно техника может быть списана;

- Составление экспертного заключения о том, что техника действительно «отжила свое» и должна быть списана. В качестве эксперта может выступать как независимый специалист, так и сотрудник компании, имеющий диплом, подтверждающий его компетентность в работе с данной техникой;
- Составление акта технической экспертизы, подтверждающего, что техника уже вышла из строя и не подлежит ремонту либо же что ремонт её уже нецелесообразен;
- Составление акта списания компьютерной техники с обязательным отображением в бухгалтерском учете предприятия;
- Утилизация техники на соответствующем предприятии, имеющем право на переработку компьютеров;
- Получение официального подтверждения в виде документа, сообщающего о том, что техника была утилизирована в соответствующем порядке и опасные отходы не будут загрязнять окружающую среду.

Анализ влияния процесса исследования на окружающую среду:

Процесс исследования представляет из себя работу с информацией, такой как техническая литература, статьи, ГОСТы и нормативно-техническая документация, а также разработка математических моделей. Таким образом процесс исследования не имеет влияния негативных факторов на окружающую среду.

5.5. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

5.5.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС

Разработчику всегда следует быть готовым к чрезвычайным ситуациям и следует знать, как следует вести себя при эвакуации в случае ЧС.

Доведение сигналов оповещения ГО и в случае ЧС до работников объектов осуществляется с помощью речевой информации по каналам радио, по радиотрансляционным сетям и сетям связи. Электроснабжение главных электроприемных объектов предусматривается по 1 категории надежности от двух независимых источников. Проектные решения по предупреждению чрезвычайных

ситуаций (ЧС). На территории лаборатории не используют, не производят, не перерабатывают, не хранят радиоактивные, пожароопасные, химические и биологические вещества, создающие реальную угрозу возникновения источника чрезвычайной ситуации. В качестве самых вероятных чрезвычайных ситуаций рассматриваются:

- Пожар на территории объектов;
- Чс при стороннем вмешательстве в деятельность объектов;
- Население, которое может оказаться в зоне действия поражающих факторов в случае аварии на объектах, отсутствует;
- Землетрясения, ураганы.

Наиболее вероятная чрезвычайная ситуация, которая может возникнуть во время разработки программного обеспечения идентификации статических характеристик нагрузки – пожар.

Согласно Федеральному закону № 123-ФЗ от 22.07.2008 года «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [11] степень огнестойкости зданий принимается в зависимости от их назначения, категории по взрывопожарной и пожарной опасности, этажности, площади этажа в пределах пожарного отсека.

Причинами возникновения пожара могут быть:

- неисправности электропроводки, розеток и выключателей, которые могут привести к короткому замыканию или пробое изоляции;
- использование поврежденных (неисправных) электроприборов;
- использование в помещении электронагревательных приборов с открытыми нагревательными элементами;
- возникновение пожара вследствие попадания молнии в здание;
- возгорание здания вследствие внешних воздействий;
- неаккуратное обращение с огнем и несоблюдение мер пожарной безопасности.

Согласно НПБ 105 – 03 Горючие и трудногорючие жидкости, твердые

горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они имеются в наличии или обращаются, не относятся к категориям А или Б.

Профилактика пожароопасной ситуации (пожара):

Пожарная профилактика представляет собой комплекс организационных и технических мероприятий, направленных на обеспечение безопасности людей, на предотвращении пожара, ограничение его распространения, а также создание условий для успешного тушения пожара. Для профилактики пожара чрезвычайно важна правильная оценка пожароопасности здания, определение опасных факторов и обоснование способов и средств пожаропредупреждения и защиты.

Одно из условий обеспечения пожаробезопасности – ликвидация возможных источников воспламенения.

Действия при возникновении пожароопасной ситуации (пожара):

При возникновении пожароопасной ситуации или пожара, персонал должен немедленно сообщить об этом по телефону 01 и спокойно объяснить: что горит, чему угрожает; адрес объекта; есть ли опасность для людей; назвать свою фамилию; немедленно обесточить всю электротехнику в помещении; обеспечить эвакуацию людей.

Помещения с электрооборудованием должны быть оснащены огнетушителями типа ОУ-2, ОУ-5 или ОП-5 (предназначены для тушения любых материалов, предметов и веществ, а также электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В, применяется для тушения ПК и оргтехники). При пожаре поднести огнетушитель как можно ближе к огню, направить раструб в очаг пожара, сорвать пломбу (выдернуть чеку), открыть вентиль, нажать на пусковой рычаг, направить струю выходящего газа на огонь. Во время работы раструба нельзя держать рукой, т. к. он имеет очень низкую температуру.

5.6 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

5.6.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей

зоны) правовые нормы трудового законодательства

Согласно Трудовому кодексу Российской Федерации и договору № 959 от 01 сентября 2016 года заключённому между АО «Системный оператор Единой энергетической системы» и Национальным исследовательским Томским политехническим университетом каждый сотрудник имеет право на:

- рабочее место, соответствующее требованиям охраны труда;
- обязательное социальное страхование от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в соответствии с федеральным законом;
- отказ от выполнения работ в случае возникновения опасности для его жизни и здоровья вследствие нарушения требований охраны труда, за исключением случаев, предусмотренных федеральными законами, до устранения такой опасности;
- обеспечение средствами индивидуальной и коллективной защиты в соответствии с требованиями охраны труда за счет средств работодателя;
- медицинский осмотр в соответствии с медицинскими рекомендациями с сохранением за ним места работы (должности) и среднего заработка во время прохождения указанного медицинского осмотра;

5.7 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Производственная деятельность разработчика, заставляет его продолжительное время находиться в сидячем положении, которое является вынужденной позой, поэтому организм постоянно испытывает недостаток в подвижности и активной физической деятельности. При выполнении работы сидя большую роль играет плечевой пояс. Перемещение рук в пространстве влияет не только на работу мышц плечевого пояса и спины, но и на положение позвоночника, таза и даже ног.

По условиям работы рабочее место разработчика относится к индивидуальному рабочему месту для работы сидя.

Рабочее место разработчика должно занимать площадь не менее 6 м², высота

помещения должна быть не менее 4 м, а объем - не менее 20 м³ на одного человека. Высота над уровнем пола рабочей поверхности, за которой работает оператор, должна составлять 720 мм. Желательно, чтобы рабочий стол оператора при необходимости можно было регулировать по высоте в пределах 680 - 780 мм. Оптимальные размеры поверхности стола 1600 x 1000 кв. мм. Под столом должно иметься пространство для ног с размерами по глубине 650 мм. Рабочий стол оператора должен также иметь подставку для ног, расположенную под углом 15° к поверхности стола. Длина подставки 400 мм, ширина - 350 мм. Удаленность клавиатуры от края стола должна быть не более 300 мм, что обеспечит оператору удобную опору для предплечий. Расстояние между глазами оператора и экраном видеодисплея должно составлять 40 - 80 см.

Рабочий стул разработчика должен быть снабжен подъемно-поворотным механизмом. Высота сиденья должна регулироваться в пределах 400 - 500 мм. Глубина сиденья должна составлять не менее 380 мм, а ширина - не менее 400 мм. Высота опорной поверхности спинки не менее 300 мм, ширина - не менее 380 мм. Угол наклона спинки стула к плоскости сиденья должен изменяться в пределах 90 - 110°.

Заключение

Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка электропривода сухой градирни. Предложено заменить морально устаревший и выработавший ресурс нерегулируемый электропривод на частотно-регулируемый электропривод.

В данной выпускной квалификационной работе был спроектирован и исследован регулируемый электропривод вентилятора, применяемый для охлаждения воды на сухой градирне. Произведен расчет и выбор силового оборудования системы регулируемого электропривода, построены статические и динамические характеристики для системы преобразователь-двигатель.

Расчет характеристик электропривода был подтвержден данными полученными при имитационном моделировании в программной среде Matlab Simulink. После чего были внесены дополнительные настройки и проведены исследования, которые показали высокую надежность и энергоэффективность разработанного электропривода.

Система преобразователь частоты – асинхронный электродвигатель с законом регулирования $U / f^2 = const$ обеспечивает требуемые характеристики вентилятора, а система автоматического регулирования с скалярным управлением обеспечивает поддержание технологических параметров в режимах пуска.

В экономической части выпускной квалификационной работы приведен SWOT-анализ, рассмотрены вопросы планирования научно-исследовательских работ, формирование сметы технического проекта. Высокие баллы качества, надежности и безопасности позволяют судить о надежности разработанной системы.

В разделе социальная ответственность проекта освещены вопросы: производственной и экологической безопасности; техники безопасности; анализ опасных и вредных производственных факторов; пожарная безопасность; рассмотрены мероприятия по охране окружающей среды и защите при ЧС.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 1. Введение в технику регулирования линейных систем. Часть 2. Оптимизация контура регулирования: учебное пособие. – Изд. 2-е, перераб. и дополн. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 156 с.
2. Аксенов В.И., Ладыгичев М.Г. Водное хозяйство промышленных предприятий: Справочное издание: В 2-х книгах. Книга 1/Под ред. В.И. Аксенова- М.: Теплотехник, 2005.
3. Берман Л.Д. Испарительное охлаждениециркуляционной воды. - М.: Госэнергоиздат, 1957. – 314
4. Клевцов А.В., Радин В.П., Федорович Л.А. Расчет градирни / под ред. И.Н. Тамбиевой. – М.:Изд-во МЭИ, 1992- 72 с.
5. Пономаренко В.С., Арефьев Ю.И. Градирни промышленных и энергетических предприятий: Справочное пособие/ под общей ред. В.С. Пономаренко. – М.: Энергоатомиздат: 1998 – 376 с.
6. Дульнев В. Б. Гидравлический расчет напорной водораспределительной системы градирни // Труды координационных совещаний по гидротехнике. Л.: Энергия. - 1968. - вып. 44. - С. 68-78.
7. Джуринский М. Б. и др. Прогрессивные методы строительства градирен и дымовых труб / М. Б. Джуринский, Н. В. Костиков, В. А. Морозов. — М.: Информэнерго, 1984. 36 с.
8. Генис С. Н. Водораспределение в градирнях. М.: Теплоэлектропроект, 1968.- 21 с.
9. Арефьев Ю. И., Гладков В. А. Исследование уноса воды из вентиляторных градирен // Труды координационных совещаний по гидротехнике / ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева. 1977. - Вып. 115. - С. 176-184.
10. Гельфанд Р. Е. Режимы работы комбинированной системы с градирней и брызгальным бассейном // Известия ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. -Л.: Энергоатомиздат. 1986. - Т. 192. - С. 66-70.

11. Гиргидов А. Д. Механика жидкости и газа (гидравлика): Учебник для вузов. 2-е изд., испр. и доп. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. 545 с.
12. Гениев Н. Н. и др. Водоснабжение / Н.Н. Гениев, Н.Н. Абрамов,
13. Гончаров В. В. Анализ коэффициентов тепло- и массоотдачи капельных потоков градиент // Труды координационных совещаний по гидротехнике. Л.: Энергия. - 1968. - вып. 44. - С. 62-67.
14. Криницына З.В., И.Г. Видяев Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение: Учебно-методическое пособие – Томск, издательство Томского политехнического университета, 2014. – 73 с.
15. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. «Шум. Общие требования безопасности» – Введен 01.11.2015 – Москва.
16. Справочная книга для проектирования электрического освещения / Под ред. Г.М. Кнорринга. Л., "Энергия", 1976.
17. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений
18. ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. «Шум. Общие требования безопасности» – Введен 01.11.2015 – Москва.
19. Правила устройства электроустановок – Новосибирск: Норматика, 2014. – 464 с.
20. ГОСТ 12.4.124-83 ССБТ. Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования – Введен 01.01.1984 – Москва
21. Утилизация компьютеров – необходимость, обусловленная уровнем развития человека [Электронный ресурс] URL: <http://greenologia.ru/utilizaciya-texniki/ofisnaya/kompyutery/utilizaciya-kompyuterov.html>.

Приложение А

Раздел 6 Workflow Process of Coling Towers

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
5АМ6Ж	Жохова Мария Вячеславовна		

Консультант отделения электроэнергетики и электротехники ИШЭ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Образцов К.В.			

Консультант – лингвист отделения ИЯ ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Соколова Э.Я.			

1. Workflow Process

1.2. Gas Liquefaction Plant

Liquefied natural gas (LNG) is natural gas, artificially liquefied by it cooling to -160 ° C, for ease of storage and transport. LNG is a colorless odorless liquid with the density of 2 times lesser than that of water. 75-99% consists of methane. The boiling point is -158 ... -163 ° C.

LNG is not flammable, non-toxic, non-aggressive in its liquid state. For the purpose of use it is evaporated to its original state. Combustion of gas does create carbon dioxide and water vapor.

Gas is liquefied both for use as an end product and for use along with APG and natural gases low-temperature fractionation, which makes it possible to extract natural gasoline, butanes, propane, ethane and helium from these gases.

LNG is made from natural gas by compression followed by cooling. Liquefaction of natural gas reduces the volume by approximately 600 times. 1 ton of LNG approximately is equal to 1.38 thousand m³ of natural gas.

The liquefaction process is a stage-wise process, where gas is compressed by 5-12 times, then cooled and transported to the next stage. Gas is actually liquefied when it is cooled after the last compression stage. Thus, the liquefaction process requires significant energy consumption - up to 25% of its quantity contained in a liquefied gas.

Two workflow processes are presently applied in:

- condensation at constant pressure (compression), which is rather inefficient due to energy consumption;

- heat exchange processes: cooling - using a cooler and turbo expanding / throttling with obtaining a required temperature at sudden expansion of gas;

- the efficiency of heat exchange equipment and heat-insulating materials are critical in the gas liquefaction processes. The increase of the heat drop difference between the flows by only 0.5 ° C during heat exchange in the cryogenic area can lead to extra energy consumption in a range of 2 to 5 kW per compression of every 100,000 m³ of gas.

The lack of throttling technology - low liquidizing ratio - up to 4%, which implies multiple distillation. The use of the compressor-expander arrangement makes it possible to increase the gas cooling efficiency up to 14% by performing work on the turbine blading.

The thermodynamic schemes make it possible to achieve 100% efficiency of liquefaction of natural gas:

- cascade cycle with a sequential use of propane, ethylene and methane as the coolants by sequential;
- decrease of their boiling temperature;
- dual coolant cycle - a mixture of ethane and methane;
- expansion of liquefaction cycles.

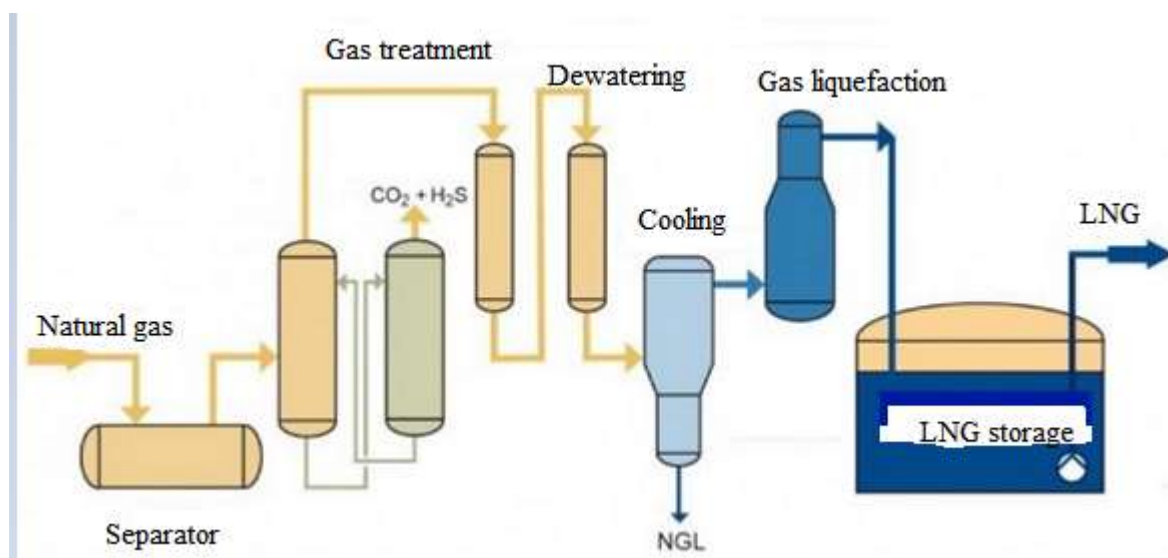


Figure 2 – gas liquefaction process

LNG plant equipment consists of:

- a gas pretreatment and liquefaction unit;
- LNG production lines;
- storage tanks, particularly special cryogenic tanks, structurally arranged as a Dewar-type vessel;
- gas carriers for loading into tankers;
- to provide the plant with electricity and water for cooling.

There is a technology allowance to have up to 50% savings in energy on liquefaction with utilization of energy lost at gas distribution stations with natural gas throttling from pressure of the trunk pipeline (4-6 MPa) to pressure at the consumer's side (0.3-1.2 MPa).

If this is the case both potential energy of compressed gas and natural cooling of gas are used as pressure drops. This helps save extra energy required to heat gas before feeding it to the consumer. Pure LNG does not burn, is not flammable itself and does not explode. LNG converts to gaseous state and quickly dissolves in the air outdoor at a normal temperature. During evaporation natural gas can ignite if it contacts with an ignition source.

It may ignite if concentration of LNG vapor in the air is within 5% to 15%. If concentration is up to 5%, then vapors of the same are not enough to ignite, and if more than 15%, then the environment suffers from shortage of oxygen. For the purpose of utilization LNG is subject to regasification - evaporation without air. LNG is an important source of energy for many countries, namely Japan, France, Belgium, Spain, and South Korea.

LNG delivery is a process involving several stages:

- LNG is transported on specialized marine vessels, tankers, gas carriers equipped with cryogenic tanks as well as on special vehicles.
- then LNG is regasified. Regasified LNG is transported to the end consumers via gas pipelines.

It is required to maintain temperature stages of the workflow processes at various stages of compression, dehydration, and dewatering. The ethylene glycol cooling system is utilized for this purpose. The excess temperature of the workflow process is released as heat into the ambient environment through an air cooler (cooling tower) with forced ventilation. Cooling is carried out by purging a dry cooling tower with the ambient air. The cooling temperature of ethylene glycol is proportional to the fan speed.

1.3 Functionality of the Cooling Tower

A cooling tower is a heat exchanger used in the circulation water system. They cool circulating water used to divert heat from the industrial process equipment.

As such cooling towers protect the plants and units from overheating and destruction under the effect of high temperatures, and also ensure stable conditions for reaction behavior or products production.

Water-circulating systems with cooling towers are widely used in metallurgy, power engineering, machine-building, aviation and chemical industries, at the enterprises of the military-industrial complex.

The term “gradieren” meaning evaporation, perfectly describes the principle of its action: water evaporates, and cools down according to the laws of physics. The first cooling tower, in a shape that we use to consider a common one, was built in the Netherlands in 1918. No specific type of the same did exist before.

A lot of workflow processes require cooled water in present-day industrial production. As long as the electricity prices keep going up, the effective way to save money is to adopt dry cooling towers in the process. This equipment can be used to cool any liquids, and water particularly.

The function of dry cooling tower is to ensure cooling of water flows involved in the workflow process at a value equal to $5-7^{\circ}\text{C}$. This is achieved by the liquid fed to the heat exchanger, reducing its temperature under the influence of airflow, taken by the ventilation unit from the environment. A heat exchanger assembly is a set of copper ribbed tubes of large area coated with aluminum. Cooled water, bypassing the heat exchanger, migrates through the pipelines to the process zone.

Dry cooling towers are also commonly called dry coolers. They are enclosed in a steel shell painted with corrosion-resistant enamel. Steel stiffeners protect tubes from damage while a dry cooler is working. The design features of a dry cooling tower can be improved at the client's request. The fans may have a special control unit changing the speed of their rotation during operation. A protective screen helps significantly reduce the noise level.

The thermodynamic limit of the dry cooler may reach 5°C . To increase the same (reduce water temperature at the outlet by few degrees), dry cooling towers may be fitted with the irrigation system. It is used in cases where the temperature of ambient air is high. Operation of the system is ensured by a set of nozzles spraying water on the heat

exchanger tubes. The evaporated liquid not only helps reduce water temperature, but also washes the heat exchanger from dirt.

Apart from cooling liquids the dry cooling towers may be used for the different purposes. Dry coolers are successfully adopted to the operation arrangement together with a cooler-chiller at many plants. It allows to have significant energy savings. Liquid is first fed to the cooling tower, where its initial cooling phase takes place, and then it arrives to the heat exchanger of the chiller, where liquid finally cools down to the preset temperature. It is worth noting that at night, when the ambient air is cool enough, the cooling tower itself can cool water to the required temperature. The chiller working in tandem with it can automatically switch off, the automatic effect is achieved due to the same and no extra energy is spent.

Reasons for using dry cooling towers:

1. A workflow process requires continuous cooling of liquids (it does not mean that it is necessarily water only, but other solutions and liquid substances as well);
2. A condition shall be satisfied, when it is necessary to reduce temperature of a liquid by 5 to 7 ° C lower than the ambient air temperature;
3. Location of the production site excludes the possibility of placing evaporative equipment on the same;
4. Production arrangement has obstacles such as of structures, buildings and other obstacle that prevent quick transmission of heated humid air;
5. For the workflow process requiring supply of a cooling liquid, the regulations set strict requirements with respect to its content and purity;
6. The possibilities for permanent water substitution at production premise are significantly limited;
7. It is not possible to utilize other water-cooling equipment because of power capacity of the enterprise.

1.4. Cooling Tower Types

Operation of any cooling tower is based on cooling of some volume of liquid with the ambient air. It is the absence of a coolant other than air, which distinguishes the cooling tower from an air conditioner, refrigerator or chiller.

Based on the operation principle, there are two major types of industrial cooling towers: evaporative and dry, sometimes they are called open or closed type.

The open type evaporative cooling tower operates on the principle of spraying hot water and mixing it with a cooler ambient air. At the same time, some water is converted to steam and, together with the heated ambient air, is released into the atmosphere, while the remaining water is cooled.

The evaporative type of cooling towers depending on the air feed mode are:

- Cross-flow;
- Counter-flow;
- Spray-type;
- Ejection-type.



Figure 5 – Cooling tower

The principle of operation of a dry-cooler or a “dry” closed type cooling tower involves decreasing of temperature, available inside the closed loop of the heat exchanger, when it is blown off with outdoor air. The same principle is applied in the car engine cooling system when the coolant flows through the radiator, blown over the fan. In this case, there is no direct contact of the liquid with the air supplied.

Open-Type Industrial Cooling Towers

Open or wet-type cooling towers ensure cooling via direct contact of air and water.

Depending on the method of agitation, the following types of evaporative (wet) cooling towers are differentiated:

Irrigation (cross-flow and counter-flow);

Packless (spray and ejection).

The irrigation or packed cooling towers ensure contact of the air supplied with cooling water on the extended surface of the irrigation layer (packing).

So, if the direction of water and air flows is parallel (counter-directional), then the cooling tower is a countercurrent type one. If the air flows perpendicularly to the water flow, the cooling tower is a cross-flow type cooling tower.

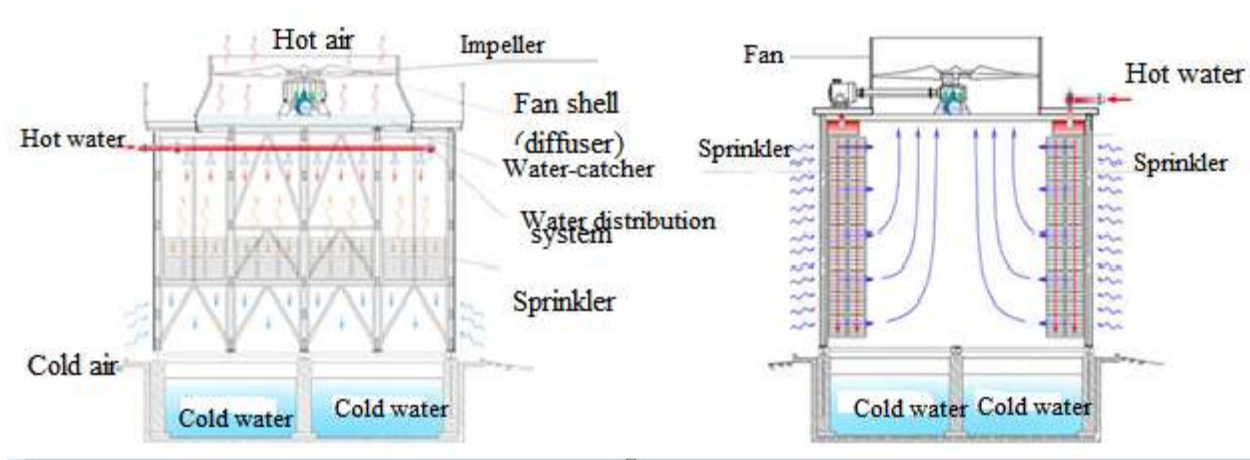


Figure 6 – Sample operation of a cooling tower

The functioning principle the spray-type cooling towers involves spraying of water and dividing it into small drops. Heat exchange takes place on their (drops) surface.

Pressure at which the spraying process takes place marks out the difference between the spray-type cooling towers or spray-type basins from the ejector-type cooling tower.

In the ejection-type cooling towers water is sprayed through the special packings at a pressure of 0.3-0.4 MPa. A finely dispersed flare with the particles of 0.2 mm moves at a high speed, approximately at 16-20 m / s. Due to this movement, a drop flow intensively entrains (ejects) the ambient air, while intermixing at the same time.

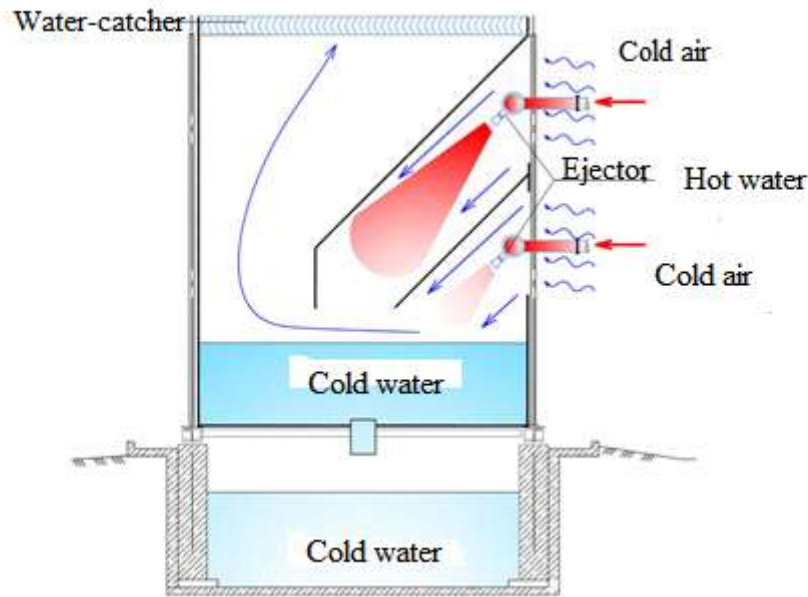


Figure 7 - Sample operation of a cooling tower

Let us consider these two types of cooling towers in detail and understand their advantages and disadvantages.

Cross-Flow Cooling Towers.

In a cross-flow cooling tower water from the header is fed to a special tank - overhead distributor. From there, yet unpressurized, self-flowing, it flows down by a narrow layer of a special sprinkler.

Heat transfer and evaporation (mass exchange) occurs due to big volume of air blown by the fan.

In these cooling towers the air moves in the sprinkler layer horizontally against perpendicularly falling down water from top downward. Hence the name: a cross-flow cooling tower. The air inlet can be located on the one or both sides, accordingly it is called a one- or two-flow system.

The second essential difference is a non-pressure water distribution system. As long as there is no pressure and 30% higher aerodynamic resistance of the sprinkler, the use of the cross-flow cooling towers in winter is very constraint. As such these cooling towers are mainly used in countries with a warm climate such as UAE, Iran, India and Pakistan.

The water-catcher in this type of cooling towers is combined with the louvers and performs a dual function: prevention of droplet carryover and splashing of water drops. Since a weakly irrigated zone occurs in the bottom of the sprinkler, it is advised to make the entire sprinkler layer inclined, so to move the bottom layer to the center and reduce frost formation [2].

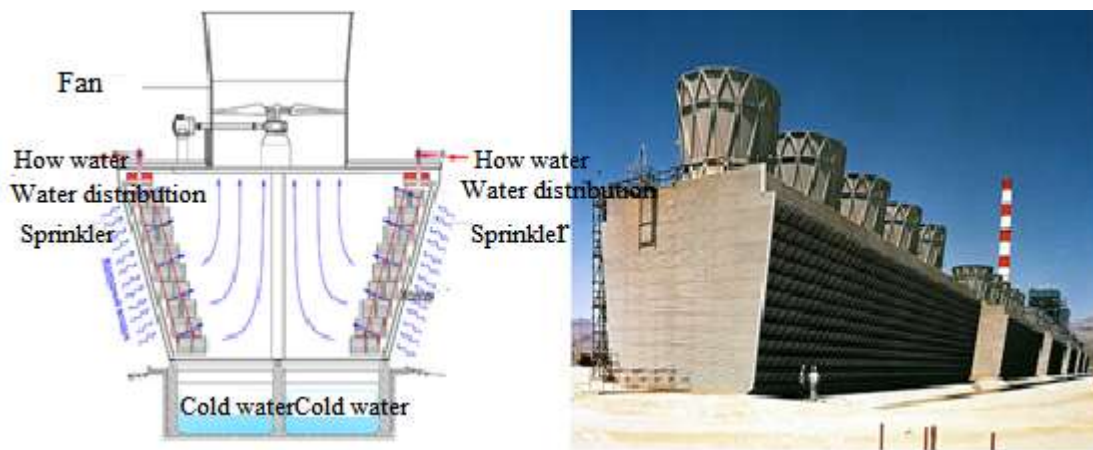


Figure 8 –Cross-Flow Cooling Tower System

The use of such cooling towers is cost-efficient if it is operated in a year-round warm climate. Then, saving of space due to the possibility to increase the height of the cooling tower and no pressure available at the top of the water distribution system may compensate any other disadvantages. Recently, such cooling towers are actively promoted in the Russian market as a cutting-edge and energy efficient technology. However, in our realities the utilization of cross-flow cooling towers in large water circulation cycles is incorrect.

Thermal calculation is similar to the thermal hydraulic calculation of the standard mechanical draft cooling tower, the only difference is the heat and mass exchange factor being 20% less. This means that under the same conditions, the cross-flow cooling towers cool less well as its countercurrent, because of the less efficient utilization of the sprinkler surface.

Advantages are as follows:

- they occupy less space, since they can be designed bigger “into the height”;

- they require less pressure in the water distribution system.

Among disadvantages are:

- 30% less efficient sprinkler;
- high cost;
- ability to freeze in winter;
- complicated repair, as spare parts are not produced in Russia.

Counter-flow cooling towers

They are two 2 major types: a chimney-type and mechanical draft type. Both types consist of a hot water supply system with packings, under which a special mesh sprinkler and cooled water collection tank are installed. Hot water entering the cooling tower through the packings is sprayed onto the sprinkler, where it mixes with the outdoor air, cools down and flows into the tank. The outdoor air is supplied through the sprinkler by natural air convection or blown by the fan. If supply goes naturally – then this is a chimney-type cooling tower, if it is forced, then this is a mechanical draft cooling tower.

A mechanical draft cooling tower. Principle of operation

It is designed as a package with a fan installed at the top. Equipment is located under it in a sequential order: a water catcher, water supply system with packings, sprinkler and tank. Outdoor air inlets are located in the bottom part of the body.

Hot water is sprayed onto the sprinkler through the water supply system and flows down through the same into the tank. Outdoor air enters into the cooling tower through the inlet ports and rises up through the sprinkler due to draught generated by the fan. A water-catcher is installed upstream of the fan to reduce losses of evaporating water, which migrates up with the heated air.

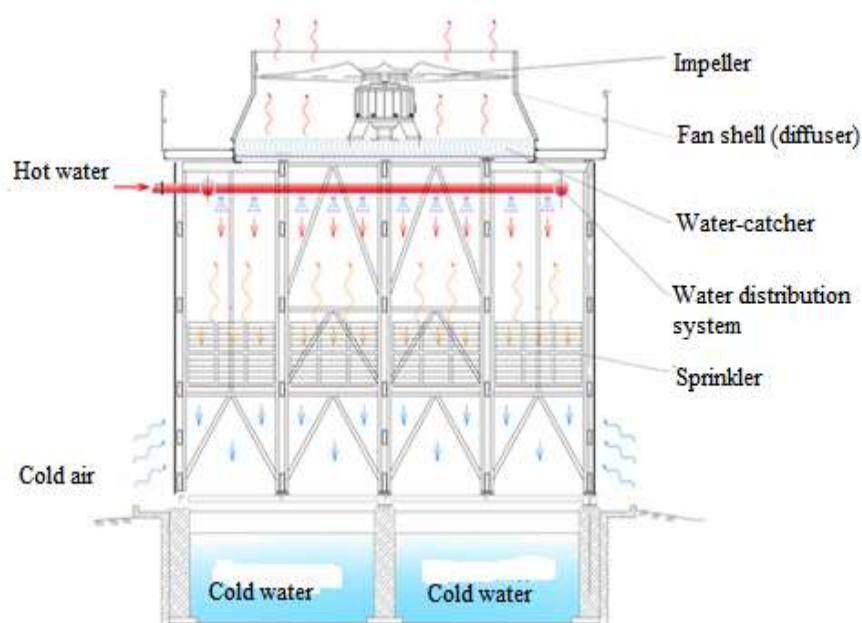


Figure - 9 mechanical draft cooling tower. Principle of operation

Due to different types of irrigation units and a wide range of axial fans, such cooling towers may be selected within a larger range of water loads and ensure deep cooling of water with a drop of up to 30 °C.

Moreover, as long as there is a possibility to install air-control louvers and reversing drive, this type of cooling towers perfectly satisfies the winter frost requirements.

Depending on the type of an irrigator, we may differentiate film-, drip and drip-film-type mechanical draft cooling towers. The latter one is the most efficient.

For small circulating water flows, cooling tower fans are supplied to the enterprises in ready-to install condition, accordingly they are called small-sized or modular small cooling towers. This type of cooling tower is characterized by low temperature drops at the inlet and outlet, while the power consumption is relatively low.

Advantages:

- structural flexibility;
- not freezing;
- energy efficiency;
- ease of repair;

- availability of a large variety of spare parts.

Disadvantages:

- requires trained staff for maintenance;
- additional measures are required in winter.

Chimney-Type Cooling Tower

A chimney-type cooling tower is a reinforced concrete or metal chimney of conical shape, inside of which there is a water supply system, a sprinkler and a tank. Outdoor air flow passes through the inlets at the bottom of the chimney and rises up through the sprinkler due to generation of natural draft in the chimney.

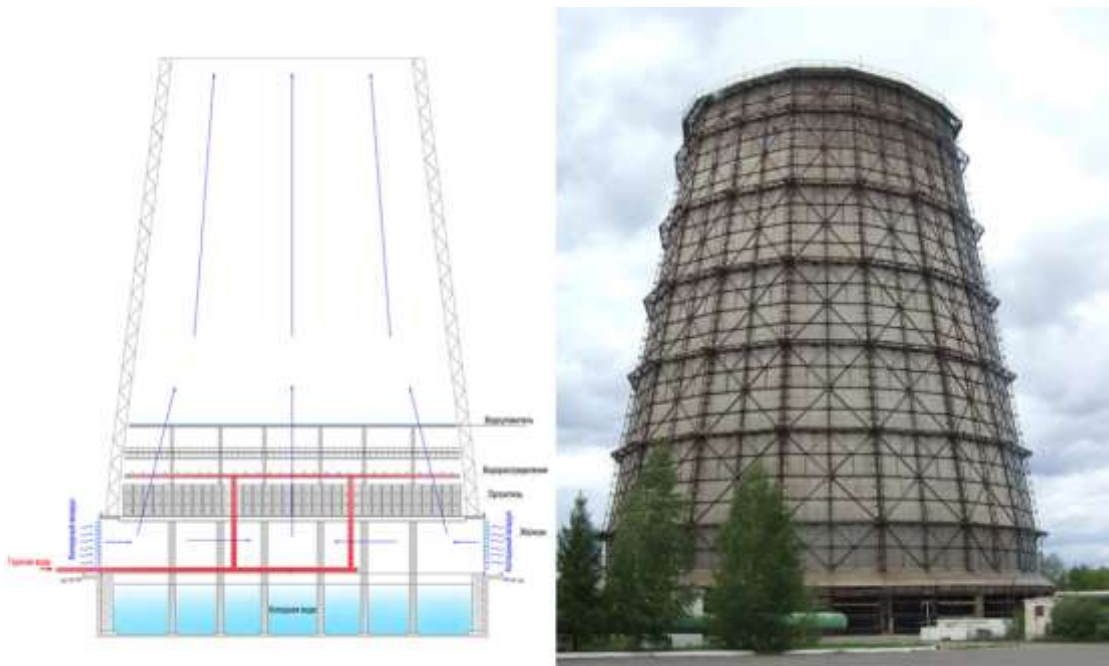


Figure - 10 Chimney-type cooling tower

This type of industrial cooling towers provides great thermal power due to high quantity of water cooled with a small temperature difference (5-10 °C). Basically, the towers are the cooling towers of the combined heat power plant or nuclear power plants.

No electricity consumption may be considered as an advantage of the chimney-type cooling towers. However, high capital expenses for construction and large space required for the same makes them a rare choice preference.

It is also worth noting that, in view of absence of the forced draft and the ability to convert airflow, operation of these cooling towers requires additional arrangements and measures to be taken. For example, there is a need to have a vestibule and louvers.

Advantages:

- no electricity related expenses while operation;
- designated for high water flows.

Disadvantages:

- poor cooling;
- expensive construction;
- complicated construction and repair;
- special winterization measures.

Ejection-Type Cooling Tower

The ejection-type cooling tower comprises of a steel package, where a high-pressure pipeline with specially designed packings (ejectors) is located. When water is sprayed at pressure through the ejector, external air is sucked into the depression zone. Air is mixed with water and cools it down.

The main advantages of this type of cooling tower are that there are no restrictions with respect to cooling water temperature. Usually the temperature in the irrigation systems is $> +60^{\circ}\text{C}$. The dome does not cool, because the polymer from which the sprinkler is made, becomes soft and can be destroyed. But, there are a number of disadvantages, which impose strong restrictions on distribution of this type of cooling towers.

First, it is required to generate pressure in the ejector. The absence of a cooling tower fan is well enough compensated by the increased capacity of pumps. For example, for a comparative volume of cooling water, a fan unit capacity is 75 kW, and pump capacity during ejection is 160 kW yet. In addition, the service life of the system pipelines becomes shorter.

Second, circulation is impossible in winter, as long as fine water suspension will immediately freeze. It is required to arrange water bypassing.

Third, droplet carryover in such cooling towers is 1.5-2 times higher, and utilization of a water catcher generates additional resistance and negatively impacts on water cooling [3].

The use of ejection-type cooling towers is advantageous at a water temperature $> 60^{\circ}\text{C}$ and / or low water flow rates.

Advantages:

- may function with hot water at a $t \geq 60^{\circ}\text{C}$;
- does not require fan maintenance;
- no mechanical moving parts available.

Disadvantages:

- high energy costs to generate high water pressure;
- high droplet carryover;
- difficult to operate in winter.

Dry Cooling Tower

The radiator (dry)-type cooling tower was developed by the Hungarian engineers, Geller and Fargo, and was originally utilized to cool the power plants condensers. It features a package with a heat exchanger (radiator) placed inside, through which the cooling liquid circulates, and one or more fans that blow over the radiator by the outdoor air flow.

The radiator is made of ribbed, frequently copper or aluminum tubes, and it preconditions how well the dry cooling towers will cool down water.



Figure – 11 Dry cooling tower. Principle of operation

Utilization of a high-quality copper radiator, with thin channels makes the cost of a dry cooling tower very high. Solution cost reduction affects the efficiency.

Dry cooling towers are worth using when the technology requires the circulation circuit to be isolated from the ambient environment or there is no chance to arrange adding water in quantities required. Then utilization of a dry cooler circuit with a mixture of ethylene glycol is practically the only way-out. One more choice in favor of a dry cooling tower is advisable if temperature of the coolant or circulating water is close to a boiling point. For example, those in the circulating cycles of nuclear power plants or oil refineries.

In other cases, utilization of a fan-type industrial cooling tower will be cheaper and reasonable as long as the air flow of the fan of an open-type cooling tower is 5 times less as compared to a closed-type cooling tower. The fan power is proportionally less than that of the open-type cooling towers.

Advantages:

- closed circuit, impurities do not get into water;
- capable to operate with boiling water;
- capable to operate with ethylene glycol;
- no droplet carryover.

Disadvantages:

- low cooling efficiency;

expensive construction and materials;

requires careful maintenance and cleaning of the heat exchanger.

Conclusion

In this section, the types of cooling towers, their operation and the construction feature has been studied. The analysis showed that a dry cooling tower is the most widespread. The main advantages are closed circuit, the absence of impurities in water. Moreover it is capable to operate on ethylene glycol. The main drawbacks of the cooling tower are low cooling efficiency, high cost of construction materials.

References:

1. Aksenov V. I., Ladygichev M.G. Water management of industrial enterprises: Reference edition. Teplotekhnika, 2005.
2. Sverdlin B.L., Fedorov A.B. Technical solutions for repair, reconstruction and construction of cooling towers // Chemical Engineering 2009, №3, p. 26-31.
3. Ponomarenko V.C. Technological equipment of cooling towers / Electric stations. 1996, No. 11, p. 19-28.